PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number:

2003-279889

(43)Date of publication of application: 02.10.2003

(51)Int.CI.

G02B 27/18 G03B 21/00

(21)Application number: 2003-007205

(71)Applicant: EASTMAN KODAK CO

(22)Date of filing:

15.01.2003 (72)Invento

(72)Inventor: KURTZ ANDREW F

KRUSCHWITZ BRIAN E

RAMANUJAN SUJATHA

(30)Priority

Priority number : 2002 050003

Priority date : 15.01.2002

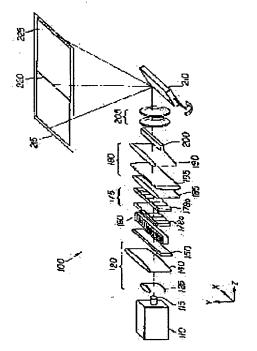
Priority country: US

(54) LASER PROJECTION DISPLAY SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laser display system by which speckles are reduced, coherence—induced artifacts in a spacial light modulator are removed and further while having a high throughput efficiency.

SOLUTION: A display apparatus includes a laser light source for emitting a light beam having a coherence length, a beam expander for expanding the light beam, the spacial light modulator and beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spacial light modulator. The beam shaping optics includes a fly's eye integrator having an array of plural lenslets, a diffuser located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics, an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the temporal and spacial phase of the light beam and a projection lens for producing an image of the spacial light modulator on a distant screen.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(阿女子) (阿女子)

3 獓 4 盂 华 噩 **袋**(21) (16) 日本国称野庁 (1 b)

特開2003-279889 (11)特許出關公開番号

(P2003-Z79889A)

(43)公開日 平成15年10月2日(2003.10.2)

中品色質	P I	144).1-12-1
	G02B 27/18	Z 2K103
	G03B 21/00	Δ

G02B 27/18 G03B 21/00

(51) Int CL.

条品型 01. 外国節出資 整金間水 未館水 路水垣の数1

(21)出取番号	传顧2003-7205(P2003-7205)	(71) 出國人 59000846	590000848
			イーストマン コダック カンパニー
(22)出版日	平成15年1月15日(2003.1.15)		アメリカ合衆国, ニューヨーク14650, ロ
			チェスター, ステイト ストリート343
(31)優先權主張番号	(31)優先指主張番号 10/050003	(72)発明者	アンドリュー・エフ・カーツ
(32)優先日	平成14年1月15日(2002.1.15)		アメリカ合衆国14610ニューヨーク州ロチ
(33)優先權主發因	(SO) 四米		エスター、キャサウェイ・パーク83番
		(72) 発明者	プライアン・イー・クルシュウィッツ
			アメリカ合衆国14620ニューヨーク州ロチ
			エスター、ロシター・ロード47番
		740代理人	100062144
			井理士 育山 協 (外2名)
			>班过区院会

(54) [郵配の名称] フー**が**故形アイスプフイツステム

【課題】 スペックルを低下させ、空間光変調器におけ るコヒーレンスのアーチファクトを除去する一方で、高 こスガープット効果を有する、 ワーザディスプァイシス テムを提供する。

育する光ピームを放射するレーザ光頭と、上配光ピーム な照射を供給するピーム整形光学装置とを含み、上配ピ **ーム監形光学装置は、複数のレンメレットにてなるアレ 一を有するフライズ・アイ・インテグレータを含み、上 記光アームにおいた 上記フー护光感 ケ上記 アーム販形光** 学装置との間に配置されたディフューザと、上記光ピー ムの時間的及び空間的な位相を変化させる電気的に制御 **可能なスペックル除去変闘器と、遠隔のスクリーン上に** 【解決手段】 ディスプレイ装置は、コヒーレンス長を を拡大するピーム拡大器と、空間光変闘器と、上記拡大 されたレーザビームを整形して上記空間光変闡器の均一 上記空間光変顕器の画像を生成する投影レンズとを含

ei i

òo

【請求項1】 a) コヒーレンス長を有する光ピームを 放射するワーが光顔と、 [特許請求の範囲]

- b) 上記光ピームを拡大するピーム拡大器と、
 - c) 空間光変顕器と、
- 崩え、上記ピーム整形光学装置は、複数のワンメワット d)上記拡大されたレーザビームを整形して上記空間光 変闘器の均一な照射を供給するピーム整形光学装置とを にてなるアレーを有するフライズ・アイ・インテグレー 夕を含み、
- e) 上記光アームにおいて上配フーザ光版と上記アーム **額形光学装置との間に配置されたディフューザと、**
- f) 上記光ピームの時間的及び空間的な位相を変化させ る電気的に制御可能なスペックル除去変闘器と、
- g) 遠隔のスクリーン上に上記空間光変顕器の画像を生 成する投影レンズとを備えたディスプレイ故画。 [発明の詳細な説明]

[0001]

て用いた投影ディスプレイ按厦に関する。特に、本税明 ーチファクト及びスペックルの発現を低減するための手 [発明の属する技術分野] 本発明は、レーザを光額とし は、ディスプレイにおけるコヒーレンスに緊張されたア 段を有するレーザ投影ディスプレイ装置に関する。

[0002]

は空間光変調器に光を照射する白色光顔の形式、母も有 技術において公知である。これらのシステムは、表示ス 名なものはキセノンアークランプの形式をとることが可 国像の表示のための投影ディスプレイシステムは、従来 [従来の技術及び発明が解決しようとする眼題] ビデオ 適当な光フィルタリングを備えた 1 つ以上の光パルプ又 クリーン上に投影される所図の画像を形成するために、 能である。

ながら、そのようなレーザは(未だに角コストであると ペラメトリック発援器 (OPO) を特色とする非線形光 [0003] レーザは、投影ディスプレイのための、ア いる。1つの潜在的な利点は、非常に飽和した色を特色 とする、より広い色の範囲にある。レーザ照射は、何ら かの空間光変調器と組み合わされたときに改替された効 可視波長において十分なパワーを有する費用効果の高い ラ・レーザ・ゲセルシャフト・ミット・ペシュレンクテ 12、当該レーザは、赤と縁と背の光を同時に発生する光 **ークランプに代わる魅力的な代替の光版として知られて 事とより強いコントラストとを提供する、簡単で低コス** しても)、現在、イェノプティク(JenOptik)及びルメ ラ・くレシング (Limera Laser, Cath) によった蚊銜さ **学システムをそれぞれ備えた、モードロック型ダイオー** 牧影ディスプレイに係るレーザの1つの不都合な点は、 レーザ顔が、歴史的に欠如していることにある。 しかし トの効率的な光学システムに対する可能性をもたらす。

イト・パルブ (GLV) と、2001年10月23日に コヴァーツ(Kowarz)に対して発行された特許文献6に 記述された共焦点グレーティング変闡器と、2000年

7月4日にラマメジャン(Ramanujan) 色に対して発行

された特許文献7に記述された電気光学反射グレーティ

特開2003-279889

8

によった壁形なれたもっ1つの座は、GIパーク(D-Pe ak) によって困略され、赤と砕と青の光を回時に発生す るOPOシステムを鍛えた、QスイッチドDPSSレー 10月27日に発行された特許文献1と2001年5月 15.日に発行された特許文献2においてワレンスタイン じよって開示されている。1998年4月14日に (Mallenstein) によって関示され、2001年5月1 5日に発行された特許文献3においてネイベル(Nebe 発行された特許文献4においてモウルトン (Houlton) ザ (O-switched OPSS Laser) である。 9

Hェ) でのレーザノイズに対する耐性とにある。2次元 くしむの自信もも発昏器技術で、軽いフィルントクタの 空間光変闘器の別の利点は、照射するピームの空間的コ て、2次元権成では非常に制限されている。1次元又は リゴアの空間光変闘器の倒は、ツリコン・ウイト・マツ [0004] 空間光変闘器は、レーザディスプレイシス テムを可能にするもう1つの構成要素を提供する。2次 ーーファイブ (Three-Five)、オーロラ (Aurora)、及 (DLP) チップのようなマイクロミター・アレーとで ある。1次元アレーとラスタースキャンされるシステム とに対する2次元変闘器の利点は、必要な走査が存在し ないことと、変偶器アレーにおける不均一性に起因する 協状のアーチファクトが存在しないことと、フレームの リフレッシュレートよりも非能に悪い因改数(>120 ヒーレンスの低下に対する広い許容性にある。一方、い 発行された特許文献5に記述されたグレーティング・ラ **元雲間光変闘器の例は、ジェーブイシー(JVC)、スリ** ーンズ (Silicon Light Machines) によった歓悩され、 1994年5月10日にブルーム (Bloom) 街に対した 1 次元デバイスを容易に製造することができのに対し ぴフィリップス (Philips) から利用可能な液晶オンツ リコン (LCOS) 変陶器のような反射型液晶変陶器 と、アキサス・インスツルメンツ(Texas instrument 8) から利用可能なデジタル・ライト・プロセシング 30 20

で一般的にコヒーレントな光を放出する、非常に明るい 焦点におけるピームの立体角との積である。 ラグランジ 光学取計との可能性を含む新たな機会を提供するが、レ **一ザ光は、他の点では、空間光変闘器を聞えた画像投影** 【0005】 無いパワーの可視のレーがは、投影システ ムの散計のために、拡張された光の範囲と簡単化された システムに用いるためには最適ではない。 特に、レーサ ンデュ (etendue) 又はラグランジュ (lagrange)) 内 **光顔である。エタンデュは、焦点のスポットの面積と、** は、非常に小さな光学的な量 (optical volume) ング疫騒器とを含む。 S

ド励起固体レーザである。このシステムは、1998年

-2-

は、焦点のスポットの半径と閉口数との積である。例 えば、回折限界ピームを用いた単一モードの緑の彼長の アークランプのような従来型の白色光ランプの光顔に対 するラグランジュよりも約15000倍だけ小さい。そ のような小さなラグランジュを備えたことによって、レ スポットプリンタやレーザ光線ショーのためのものを含 む、ラスター走査システムにおいて非常に効果的に使用 **ーザは、厳密に慰御されたピームが望ましいフライング** レーザは約0.3μmのラグランジュを有し、これは、

{0006} 一方、フィルム又は空間光変調器のような 画像生成媒体の画像がスクリーン又は目標平面に対して 結像される画像投影システムにおいて、レーザの高いコ ない。そのような画像生成システムにおいて、ラグラン ジュは、集光レンズの開口数を乗算された、投影される ュも同様に計算される。多くの白色光投影システムにお いて、投影レンズは、可能なかぎり多くの光を集光する ように、かなりの大口径 (fast) (例えば f / 3) であ る。たとえそうであっても、典型的な自色光ランプの光 (すなわち、光の量があふれ) 、かなりの量の光が失わ 適な光源は、オーバーフィルすることのない適正な充填 グランジュを備えた標準的な白色光ランプは十分に明る ヒーレンスと小さなラグランジュとは根本的に望ましく イズ) によって決定される。関連した量であるエタンデ 原は、光ベルブと投影レンズの両方でオーベーフィルし を提供するような、ほぼ2. 0mmのラグランジュを有 3の投影レンズとを用いた代表的システムにおいて、最 領域の直線サイズ(linear size)(空間光変調器のサ している。しかしながら、2乃至10mmの典型的なラ れる。例えば、一般的な0.9"の対角光パルプと1/ くはなく、一般に、この代数的システムでオーバーフィ ルしてしまう。

9 中心に不連続な部分を備えたXキューブ、あるいは光学 **国域の投影を用いたレーザディスプレイシステムの場合** テムに対しては、光顔の明るさを低下させること(又は ステムは、解像度とシステムの光効率とシステムの簡単 【0007】(ラスタースキャニングに対比して)画像 コヒーレントな光顔で空間光変陶器を照射すること 素子上の任意のごみ又は欠陥を、高度にコヒーレントな 光のゲームで照射することによって、回折のアーチンナ クトが発生しうる。ゆえに、そのようなレーザ投影シス た、重要な機会を提供する。投影ディスプレイの光学シ さに係るシステムの必要条件を最適化し、かつパランス には、レーザが明るすぎるという、逆の問題が生じる。 光顔のラグランジュを増大させること)が必要である。 な、干渉の効果に対する潜在的な可能性が存在するの は窒ましくない。 液晶パネルのグリッド電極パターン、 さらに、表示される画像に重なることがある橋のよう [0008]光顔の明るさに係る画成された低下はま

f数をシステムの光効率以外の基準に基づいて画成する **にとによった、投影ワンズ、カラーフィルタ、個光光学** 核置のような他のシステム構成要素についての仕様を綴 **怕し、何らかのヲンプに揺么へ投影システムと比較して** ンステムのコストを劇的に低下させることができる。

【0009】レー扩光原は、投影ディスプレイの照射及 び画像生成システムにおける使用のために最適化可能で ある一方で、結果として、対処されるペきスペックルに 係る大きな不利益が存在する。スペックルは、ほとんど のレーザ光源に固有の(空間的及び時間的の両方の)高 度なコヒーレンスに起因して発生する。スペックルは画 を低下させかつ見る人の邪魔になる粒状構造として現わ 光顔が歴史的に欠如していたことと同様に、市場性のあ 像中のノイズ成分を生じ、それは、画像の実際の鮮明さ れる。このように、スペックルの問題は、適当なレーザ るレーザに基づいたディスプレイシステムの開発を阻ん [0010] スペックルを減少させることを試みる方法 ローチは、照射する液面を複数のビームレット(beamle において、従来技術は豊富に存在している。1つの一般 って時間的なコヒーレンスを低下させることである。時 る。例えば、1993年6月29日にラスムセン (Rasm 的なアプローチは、レーザ光顔の線幅を広げることによ 関的なコヒーレンスを低下させることに対する他のアプ レンス時間よりも長い時間で互いに遅延させることであ スクリーンを援動させるか又は動的に変更させることに ンプソン(Thompson)他に対して発行された特許文飲9 を参照せよ。もう1つのスペックルを低下させるための アプローチは、1971年6月28日にマシセン (Math は、スペックルのパターンの視路性を低下させるもう1 つの方法である。例えば、1993年12月21日にト isen) に対して発行された特許文献 10に配載されたよ うに、レーザ光をマルチモード光ファイベに結合してコ アイバを援動させることで、モードスクランブルを発生 t:又は小どー々) に分割し、それのをフーザのコドー ussen) 他に対して発行された特許文献8を参照せよ。 よってスペックルのパターンを動的に変化させること させることを含む。 2 30

つの談は、投影システムの内部で動かされるか優勢させ 977年7月12日にローソン (Ramson) に対して発行 された特許文献 11に開示されているように、中間の画 点は、散乱が正確に画像平面において生じなければなら いう必要条件によって複雑化する。装置の照射経路にお [0011] スペックルを除去する解決法に係るもう1 象平面において実行される。このアプローチの1つの欠 5。また、投影レンズは、中間の画像平面を提供すると いてレーザどームを動的に散乱することによってスペッ クルのパターンを動的に変化させる手段が好ましいであ られる散乱寮子を用いている。典型的には、これは、1 ず、そうでないと画像の軟化が生じるということにあ

ろう。このアプローチを利用したホログラフ照射システ ムが、1970年1月20日に発行された特許文献12 れ、これにおいては、ディフューザがビーム拡大器 (be ス (Florence) は、1994年5月17日に発行された 光ペルブを照射することを開示している。これらのアプ に対して適用可能でないという不利益を有する。バター ンパクトなシステムにおいて、均一な照射を生成すると 符許文献13において、回転するディフューザを介して ローチは、矩形の空間光変調器に係る均一に有効な照射 に発行された特許文献14で、光導被略ホモジェナイザ の服射において、可変な厚さを有するプレートが回転さ れるシステムを開示している。しかしながら、レーザと 分な均一性を達成するために大きな関ロ数又は十分な長 においてヴァンリグテン (vanLigten) によって開示さ am expander) の焦点において回転される。フローレン さのいずれかを必要とし、かつ散計の自由度が少ないた ワース (Butterworth) 他は、1999年12月21日 めにフライズ・アイ (fly's eye) の光学装置を用いて 同時に照射の明るさを制御することはより困難になる。 ともに用いられたとき、光導彼路ホモジェナイザは、 費計されたシステムほどは耐御が効かない。 ゆえに、

[0012] 最後に、2001年11月27日に発行さ れた特許文献15においてトリスナディ(Trisnadi)に よって開示されたレーザ投影システムは、画像生成する ピームにわたる構造化された位相プロファイルを伝達す るために液面位相変調器が使用される散計を説明してい される。このシステムは、波面変開器によって提供され る静的な位相プロファイルが、狭い (走査の) 方向にお 5。 画像データは、リニアG L V型の空間光変調器によ **したアームに伝達される。この変闘器は、波面変闘器が** 位置する中間の平面に対して結像され、次いで、この中 上記画像はガルパノメータの動きを介して全体的に起査 位相プロファイル上の単一の点によって照射される。ス クリーン上の単一の点における合計の強度は、すべての 位相の"非干渉性"の和である。さらに、波面変爾器の 効果が一般に互いに相殺するようになっていなければな 位相プロファイルは、高低の位相ステップからの干渉の らない。特許文献15のシステムは、ある程度のスペッ クルの低減をもたらすが、被面変調器が、照射システム 内よりもむしろ回像生成システム内の中間の画像平面に 配置されているという事実は、画像品質に実質的に影響 しないという制約によって位相の変化が制限されている **ので、システムの性能を低下させる。また、前述の被面** 変開器は、受動的な空間的に可変の位相グレーティング として構成された静的なデバイスであるので、それは餡 助的なデバイスよりも少ない制御と位相の変動とを提供 間の画像はスクリーンに対して再び結像され、ここや、 ける線状画像に伝達されるという事実に基づいている。 いかなる瞬間においても、スクリーン上の単一の点は、

特開2003-279889

€

と、光パルブにおける回折のアーチファクトの発生とに **ある。このことは、フィルム層の非均一性に起因して薄** トは、光質顕器におけるグリッド電極パターンを高度に 【0013】 画像プロジェクタ中でレーザを光顔として 膜構造が画像中の縞を結果的に発生させることがある篏 晶変闢器において特にあてはまる。 回折のアーチファク [0014] ゆえに、空間光変闘器を使用し、照射の明 るさを制御してシステムの散計を最適化することを可能 にし、低減されたスペックルを提示し、空間光変調器に で、崩いスループット効率を指示する、レーザに基づい 用いることのもう1つの不利益は、干渉に対する感度 コヒーレントな光のパー々や歴針するいかかの供いる。 おけるコヒーレンスのアーチファクトを除去する一方 たディスプレイシステムに対する必要性が存在する。 9

|特許文献1] 米国特許第5,828,424号の明細 [0015]

[特計文献2] 米国特許第6, 233, 025号の明細 [特許文献3] 米国特許第6,233,089号の明細

【特許文献4】米国特許第5,740,190号の明却

【怜酢文献5】米国怜酢第5,311,360号の明細

[特許文献6] 米国特計第6, 307, 663号の明細

【怜酢文献7】米国怜酢筑6,084.626号の明細

[特許文献8] 米国特許第5,224,200号の明細

[特許文献9] 米国特許第5, 272, 473号の明細

【特許文献11】米国特許第4,035,068号の明 [特許文献10] 米国特許第3, 588, 217号の明

[怜許文献12] 米国特許第3, 490, 827号の明

[特許文献13] 米国特許第5, 313, 479号の明

【特許文献14】米国特許第6,005,722号の明

[特許文献15] 米国特許第6, 323, 984号の明

[0016]

紡りた、コエーフンス長を有する光アームを放射するフ 「課題を解決するための手段」この必要性は、本発明に ーザ光顔と、上記光ピームを拡大するピーム拡大器と、

÷

20

させるように設計されることが可能である。システムの

20

し、従って、スペックルの低減は小さくなる可能性があ

9

特開2003-279889

空間光変国路と、上記拡大されたレーザピームを騒形して上記や回光変国路と、上記セイエを指示なアーム整形 光学技図とを縮え、上記ピーム整形光学技園は、接数の レンズレットにてなるアレーを有するフライズ・アイ・ インテグレータを含み、上記光ピームにおいて上記レー ガ光源と上記ピーム整形光学技園との回に配置されたデ イフューザと、上記光ピームの時回的及び空間的な信相 を変化させる亀気的に筋弾可能なスペックル探虫(de-s pectling)変国器と、道隔のスクリーン上に上記総固光 仮国路の面像を生成する投影レンズとを縮えたディスプ 10

「秘密の実施の形態」因1の斡旋因には、本発用の一球 箱形態に係るレーザイスプレイシンアム100が形む れ、上記レーザイスプレイシンテム100は、所望の 数安のレーザビーム115名、道様式が又はバルス式か のいずれかで放射するレーザ110名名んでいる。レー が110は、倒えば国体ケーサ、ファイベレーザ、ガス ナーが又は半線体レーザであるにとが同能である。レー が110は好適には、光の赤外線パルスを放射するレー が110は対応には、光の赤外線パルスを放射するレー が110は対応には、光の赤外線パルスを放射するレー が110は対心にない。ソAG、Nd:YLF、Nd: YVO・又はYb:YAG)を含むダイオードレー炉 起の固体レーサであって、レーザ結晶からの光の赤外線 がみる、光の赤と線と背のパルスに突破する非線形光 や数置(無型的には光パラメトリック接近器(OP

○)を含む。レーザ110に適当なモードロック型RGBレーザは、ルメラ・レーサ・グゼルツャント・ドット・ペンコンング及びイェノブティクで製造されている。他の適当なレーザは、Qーピークによって囲影された。QスイッチドRGBレーサである。同時代のため、本レーザブイッケインンスケム100は1つの数型のの方形に、QスイッチドRGBレーサである。同時代の方式、QスイッチドRGBレーサである。日本院に、遊്(C)、1,5 nm)とがはコーレンンス乗CL(0,1)が至10、0mm)とを有する、項品質の単一キードピームを指生する。項目の単一大・バームを指生する。項目の中一大の一人と対けて、レーサブイスアレインステム100は、図1のが設施を明らかに下るよりに静画図で行きよっても。

ないできた。 「10018] アーム性大学学園120はレーザアームを拡大して、アーム酸形米学園120はレーザアームするのに十分なのの面を有する平行化されたトーム 15を生成する。 北季の当報者には公知であるように、アーム拡大光学楽園120は、例えば無限風点のファメ対であることが可能である。それに代わって、例えば原成点のファメ対であることが可能である。それに代わって、例えばのアーム式のアーム式入ばケブラーはのアームが大器が使用可能である。 無限馬点対のアームが大器が使用可能である。 無限馬点対のアートレンズ140とを備えている。 発験レンズ125は

な複合レンスであることが可能であり、光アーム115を発展に一ム130に変換する。コリメートレンメ14011単一のレンメ又は複合レンスであることが可能であり、発像ビーム130を平行化されたビーム145に変像する。この平行化されたビーム1451ドインューが150及び総気的に誘導可能なスペックが各主変回器160と相互作用し、次いでさらにビーム機形光学装置170によった変化させられる。

えば、照射する光ピームは、アレー (x) 方向へ25乃 集光させる、又は光のピームの焦点を合わせる交差アレ 一光学装配が、簡単化のために単一のレンズの交換アレ テムは、×方向に長くy方向に狭いリニア空間光変顧器 200を使用するので、ピーム拡大光学装置120及び ピーム整形光学装置 170はアナモルフィックに構成さ 均一な、テレセントリックに入射する光の長く狭い線で **至75mmだけ延在する均一な光プロファイルを有する** 場合があるのに対して、アレーに交差する方向の狭い光 は、典型的には均一又はガウス型のいずれかのピームブ 5。図1の簡単化された協合のレーザディスプレイシス テムでは、リニア空間光変闘器200上に光のビームを [0019] 図1及び図2ョのレーザディスプレイシス 投光照射 (flood illuminate) することが留ましい。例 れ、一般に、適正な配置の複数の円柱レンズを使用す る。特に、典型的には、リニア空間光変調器200を、 ロファイルで、20乃至100μmの幅のみを照射す **ーコンゲンサ195として示されている。**

[0020] 従った、図1のシステムにおいてレーが牧 作し、よってこれはアナモルフィックであり、リニア光 は、ピーム盤形光学装置180もアナモルフィック(円 イズ・アイ・インテグレータ175は、リニア空間光変 5。フライズ・アイ・インテグレータ175は、典型的 には同一である第1のレンズレットアレー178aと第 1、1 次元のパターンで配列された、円筒面を有する複 ノー1786は、年1のアンメアットアレー178aか **らほぼ類1のレンズレットアレー178g上のレンズレ** ットの焦点距離分の長さで離隔されているため、第1の ノンメレットアレー 178 fiにおける各 アンメレットは 第2のレンズレットアレー1786における対応するレ 影ディスプレイがリニア空間光変闘器200を使用する 場合、ピーム拡大光学装置120はアレー方向のみに動 パルプの方向(x方向)にピームを拡大する。この場合 簡形の断面)であり、光のパワーは×方向に存在し、y て)平面状である。ピーム敷形光学装置180は、フラ (ズ・アイ・インテグレータ175を含んでいる。 フラ 数のレンメレットを含んでいる。 第2のレンメレットア 2のレンズレットアレー1786とを含んでいる。 第1 方向においては (交差アレーコンデンサ195を除い 開器200の領域上に効率的かつ均一な照射を供給す 及び第2のレンズレットアレー178a及び178b

レットブレー1788及び1786は異なっているが所 望の照射を供給するように整合された他の数計も可能で 10021]それに代わって、第1及び第2のレンズレットアレー178a及び178bは、ガラス又はプラステックにてなる単一のブロックに統合化可能である。また、特に、小さい敵乱角が使用される場合には、本務明は第2のレンズレットアレー178bを使用せずに連成のカール。

お、かん服料の合計の限口数を扱小化する。 視野 アンメ レットは、幅100 mmほどの小さいものであるか、又 【0022】ピーム整形光学装置180はまた、フライ レンメ190とコンデンサレンメ185との問題も回接 メアットアフー及びコンデンサフンメ185の焦点距離 な動作距離を提供するように強択される。個別のレンズ は8mmまでの幅の大きさのものであってもよく、個別 のワンズレットは典型的には幅1乃至5mmである。利 用戸館なフンメフットのサイズの範囲は、使用される製 ズ・アイ・インテグレータ175の後に配置された、コ ンデンサレンズ185及び視野レンズ190を含んでい 8 a の複数のレンズレットを互いに重複する方式で結像 させ、リニア空間光変調器200において所定範囲の均 一な照射を供給する。視野レンズ190は、リニア空間 190は、公称で、照財国像の倍率が発揮されたレンズ レットの焦点距離に等しい焦点距離を有している。視野 **に、服針をアフセントリックにするために一般にコンデ** ソサワンメ185の焦点距離に毎しい必要がある。 ワン は、典型的には、光学機械的構造を相対的に容易に設計 できるような、リニア空間光変闘器200の付近の十分 5。 年2のワンメワットアワー1 7 8 bは、コンデンサ フンメ185と弦磨つト祭1のフンメフットピワー16 光変闘器200のテレセントリックな照射を供給するこ とで、焦点ぼけ観燈に対するシステムの感度を低下さ 造技術に依存する。

20

【0023】リニア空間光度顕器200は、任意の瞬間に、画像のうちの単一の様220を生成する。ガルバイメータミラー210、スピンするポリゴン、又は回修するブリズムのようなスキャナは、スクリーンにわたって画像の線を描引し、スクリーン215上に2次元の領域画像225を形成する。図1及び図2aに示されたレーザディスプレイシステム1000場合、本システムは、後窓レンズ205がガルバノメータミラー210に先行して配置された、ポスト対物(post-objective)スキャナとして構成されている。一例として、仮にリニア空間光変顕器200が40mmの長さの動作領域を有し、かつスクリーン215上の所図の回像サイズが幅30フィートであるとすると、投影レンズ205は~230xの倍率であるとすると、

【0024】リニア空間光変開器200には、様々な異なる技術が使用可能である。図1及び図2aで極度に簡

ンズレットへと光を集束させる。 第1及び第2のレンズ

2

単一のワンズであるか、又は函数鏡の対物ワンズのよう

特開2003-279889

9

単化して示されているように、このデバイスは、光を向らかの方法で変異することによって画像データを光ピーム中に符号化するトランスミッング変励器(法信変回器)である。このデバイスは、例えば、入体光の偏光を画線等の基準で回転させる。PLTから作られた高気光半変顕器アレーであることも可能である。この場合、電光ピームメブリッティングプリズム(図示社)。

は、光ピームの変闘された部分と変闘されていない部分

9

(図示せず。) を投影レンズ205内部のフーリエ面に を構成することができる。また、1994年5月10日 **ィング変闘器アレーを使用することもできる。これらの** ムをシステムへと戻すように変形される必要がある(図 これらは光学システム設計の分野では一般的な技術の値 とを分離するためにリニア空間光変闘器200とガルパ ノメータミラー210との間のどこかに配置される。そ く、このデバイスは、位相プロファイルを画楽毎の基準 配置することによって、シュリーレン型の光学システム ーティング・ライト・パルブ (GLV) と、2001年 第6, 307, 663号の男細盤 (特許文献6) に記述 袖合には、ワー声校駅炉ィスプワイ100はまた、光ア れに代わって、リニア空間光変闘器200は、1994 年5月3日にグロス (Gross) に対して発行された米国 や許気5,309,178号の明細番で鉄幅されている デバイスとよく 仮たトランスミッシブ 音響光学アレーチ 1.360号の明細書 (特許文献5) に配送されたグレ 10月23日にコヴァーツに対して発行された米国特許 された共焦点グレーティング変闘器と、2000年7月 6,084,626号の明細書(特許文献7)に記述さ れた鳳気光学グレーティングとのような、反射グレーデ **ーd��質臨い厄ぐっト扇厄かれ、ぐし反針かれたアー** 1及び図2mにはこのような変形は示されていないが、 パイス (送信音響光学アレーデパイス) であってもよ 1日にラマヌジャン他に対して発行された米国特許第 にブルーム他に対して発行された米国特許第5,31 で入射ど一ムに伝達する。この場合は、空間フィルタ 田内である)。

[0025]レーザ110とピーム整形光学装置180の間には、投影システムの結像の必要条件に適合するようにレーザ光の明るさばはカンデュや変更するためのがイインコーザ15のが配置されている。リニア空間光度 国路200を有する図1及び図2sのレーザゲイスプレインテル10の組む、ゲイフューザ150はた 光ベルブアレーの最中方向(図面ではx方向)に沿ってのみ光を模型させ、ソガのピームは公路では変更されないままにする。この1次元のゲーンエグ150は、ちょうど光ベルブを有効に照射するのに十分なだけの数 気を生成し、国像にフレア光を導入するほどの放乱を生成することはない。 例示的な1次元のディフューザ150は、メススオプティカル(概略 Optical)から利用可能な回

折ライン発生器と、フィジカル・オプティクス・コーポ レーション (Physical Optics Corp.) から利用可能な 梢円ホログラフィックディフューザとを含む。

[0026] 特に、ディフューザ150は、レーザ投影 ディスプレイ100の照射光学システム内で、光頭の明 るさを低下させる(ラグランジュを増大する)ために使 及びディフューザ150の位置は選択される。システム のラグランジュは、ディフューザ150上の照射ピーム プロファイルの幅の半分と、ディフューザ150によっ な1/3の代わりに、1/1乃至1/15の範囲で有す 用されている。それに応じて、ディフューザの角度もロ る。所毀のシステムのラグランジュは、特定される画像 ンプに基づくプロジェクタでは、システムのラグランジ の解像度から推測されることが可能であり、画像の解像 度はリニア空間光変闘器200の解像度と投影レンズ2 05の結像特性とに依存する。比較として、典型的なラ ュはシステムの光効率を最大化させる必要性によって決 定される。その枯果、レーザディスプレイの投影レンズ は、「数を、従来技術のランプに基づくシステムに必要 ることが可能である。レンズの「数に対する実際の設計 目標は、レンズの品質を決定するために指定される結像 **基準に依存する(例えば、レイリー又はスパローの結像** て散乱される光の角度の半分との積によって決定され 抵準が適用可能である)。

り、22mmの直径を有する平行化されたピームによっ [0027] -例として、長さ40mmのリニア空間光 **変闘器200と f / 1 0 の投影レンメ205との組み合** せは、X 方向に~1.0mmで、投影システムの目標ラ グランジュを特定する。この例では、ディフューザ15 て照射されるように照射システム内に配置されることが 0. 3 μ m から ~ 1. 0 m m にまで弱められ、介在する 光学システムが適正な倍率及びレンズ構成を有するもの り、これにより、伝統的なランプに基づヘシステムに比 0 は半分の角度 8 D=5.0°を有することが可能であ 可能である。この例では、レーザ光のラグランジュは~ と仮定すれば、リニア空間光変調器200にスペキュラ て、効果的なレーザ光顔のラグランジュ又は明るさを光 ペてシステムの光効率を増大させ、光学的な設計を簡単 (specular) の f / 10ピームを供給することができ る。従って、適正なディフューザ150の選択を介し 学システムの必要性に応じて画成することが可能であ 化することができる。

ヒーレンスをある程度は低減させるが、レーザ光は、出 ヒーレントのままである。このスペックルがさらに低減 されなければ、これは、リニア空間光変闘器200及び [0028] ディフューザ150は実際にレーザ光のコ 力されるピームにスペックルを与えるのに十分なだけコ スクリーン215の両方で、光の強度における望ましく ないランダムな変動として存在することになる。しかし

財を供給するフライズ・アイ・インテグレータ175は また、スペックル除去及びアーチファクト除去に与える フューザ150からの多数の寄与をリニア空間光変調器 2.1.5上の画像において重複させることによって実現す 5。リニア空間光変調器200及びスクリーン215に おいて結果的に生じる照射光内のスペックルは、フライ 合わされているときの投影ディスプレイは、そのような ディフューザ150の効果を増大させる。これは、ディ 200上で重複させることによって、従ってスクリーン ズ・アイ・インテグレータ175をもたない同様のシス テムに比べるとサイズ及び大きさの面では大幅に低減さ れるが、重大なアプリケーションではこのスペックルの 残存量でも依然好ましくない場合がある。 スクリーンに 人の視力の限界近くでスクリーンを見る観察者とが組み 対する非常に高い倍率と、高いゲインのスクリーンと、 **重大なアプリケーションに相当する。** 20

[0029] 本発明の主たる目的は、ピクセル化 (pixi (ato) された光学システムの出力のスペックルを除去す スプレイを提供することにある。こうしたシステムにお が、空間的にも、あるいは時間的にも、互いに完全には 同位相ではない場合に低減されることが可能である。図 5 a には、複数の画素のグループにわたって伸長しかつ スペックルを呈示する場合のある、局所的に均一な位相 プロファイルが示されている。本発明は、図5gに示さ 化させる手段(電気的に制御可能なスペックル除去変調 器160を含む)を使用することで、それは、図5bに れた位相プロファイルを光ピームの広がりにわたって姿 るために内部手段の組み合わせを用いるレーザ投影ディ 示されたプロファイルにより精密に類似したものとな けるスペックルは、隣接する函療又は画素のグループ

ここでは、任意の与えられた瞬間において、×方向に沿 示されたような周期的又は準周期的なプロファイルをも たらす幾何学的形状もまた同様に効果的である。周期的 可能なスペックル除去変調器160を含み、上記一連の った隣接領域が異なる位相プロファイルの光を受けてい 又は準周期的な位相プロファイルはスペックルを低減さ ないアーチファクトがもたらされる可能性がある。この ため、本発明に係る好適な動作モードは、図5bに示さ れたような位相プロファイルを生成するものである。本 イ100は、一連の変闘器部分を有する、観気的に制御 変闘器部分は、局所化されたランダムな位相変化を入射 **光に提供するための制御倡号を受信し、これにより、シ** ステムによって表示される画像におけるスペックルの視 怒性を低減させることを促進する。 本光学システムにお る。また、例えば隣接する変闘器部分 (modulator sit e) 間のクロストークから生じることがある、図5cに せるが、こうした周期的位相構造によって他の望ましく 発明のある好適な実施形態では、レーザ投影ディスプレ る。図5bはよりランダムな位相プロファイルを示し、 \$

クル除去変調器160の変調器部分との間に1対1の対 5。実際に、本光学システムはピクセル化されている必 応が存在する必要はないということに注意する必要があ **要はまったくなく、例えば、画像変調のためにフィルム** のようなアナログ媒体を使用することも可能である。

ビューワ又はビューイングシステムはスペックルが低減 [0030] 本発明のレーザディスプレイ100に使用 される電気的に制御可能なスペックル除去変鋼器160 は、光ピーム内に十分な位相変動を提供するため、当該 された画像を受け取る。複数の変顯器部分を独立して電 気的にアドレス指定することにより、電気的に制御可能 を導入することができる。各変調器部分(又は複数の変 は異なる継続時間の電圧が印加されるので、光が教被長 ルの発現を大幅に低減させる。摂動された位相面を空間 は、隣接した変闘器部分に関して、光ビームに位相遅延 **調器部分のグループ) には異なる電圧が印加されるか又** 分だけ伝唆するときの位相遅延に対応する位相遅延が生 じる。位相プロファイルに対するこの変動は、スペック 的に提供する電圧分布を避び出し、かつそれを時間的に 変化させることにより、空間的及び時間的の両方の位相 変闘器が適切な光学システムと併せて使用されるとき、 なスペックル除去変調器160における各変調器部分 変動が光アームへと導入される。

160は、その制御可能な空間的に変動するランダムな テムに包含される。電気的に耐御可能なスペックル除去 変闘器160は、コヒーレンスの低減を介して、又は光 ピームにおける位相の空間的及び/又は時間的なランダ ム化を介してスペックルを低減させる。電気的に制御可 【0031】電気的に制御可能なスペックル除去変闘器 能なスペックル除去変調器160を光学システムへ包含 ファイルを変化させることによって、光ピームの位相ブ [0032] 図3を参照すると、本発明のレーが投影デ イスプレイにおいて使用可能なタイプの電気的に制御可 路160は、アドレス指定が可能な複数の変調器部分の **集合物を含むパターン化されたデバイスであり、上配複** 数の変調器部分は、信号、又は個別の変調器部分に供給 位相プロファイルがスペックルの低減へと移行(transl すると、光が通って進行する媒体における屈折率のプロ **龍なスペックル除去変闘器160の第1の実施例が示さ たている。この電気的に制御可能なスペックル除去変闘** されるデータに従って、隣接画素に関して、制御された 時間又は位相の遅延を発生する。ラマヌジャン他により 2001年8月8日に出題され、ともに顕微された同時 系属中の米国特許出願シリアル番号第09/924,6 ato) する方法で、レーザ投影ディスプレイの光学シス 1 9 号の明細書は、スペックル除去変調器の散計及び動 ロファイルを効果的にスクランブルさせるようになる。 作についてここに示されたものより詳しく説明してい

[0033] 電気的に制御可能なスペックル除去変調器

20

特開2003-279889

®

る。各変闢器部分350は遅延関域380を有し、光の 160は、一連の個別の変闘器部分350,355,3 60などを有するパルク電気光学基板370を備えてい ピーム320は、上記遅延関城380を辿って、上部電 第385と下部電極400との間に印加される電界に関 進して時間又は位相の遅延に遭遇する。 光のビーム32 0は、入力ファセット340を介してパルク電気光学基 板370に入射し、その後は変闘器を横断して出力ファ セット345から出射する。

【0034】電気的に制御可能なスペックル除去変調器 が、その幾何学的形状が様々な材料及び照射被長に適用 を興造するための電気光学材料の選択肢は数多く存在す るが、その中にはニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウ **ータに関する以後の循緯の中心は、主として633nm** A及びPLZTが含まれている。簡単化を図るため、爾 気的に耐御可能なスペックル除去変闘器のためのパラメ で照射されるタンタル酸リチウムを使用することにおく 可能であるという点は理解される必要がある。 異なる材 **科が使用される場合は、正しい軸が使用されていること** うしたデバイスの設計にPLZTを使用すると、電気光 学係数が大きいために、変調器部分に沿って数桁のオー しかしながら、結晶は、印加される電界が結晶の適正な を保証するように配慮しなければならない。例えば、こ ゲーで大きい位相遅延を発生させることが可能である。 軸を介して光揚 (optical field) と相互作用するよう に向き付けられる必要がある。

いての機器のために、枯晶軸と伝数軸とが低回されない [0035] タンタル酸リチウムの場合、ここで表示さ 光がy方向に沿って伝搬し、電界がz方向に沿って印加 されることを意味する。最良の結果を得るために、変調 器を介して進行する光は×方向(横方向)に沿って編光 される。縄気的に制御可能なスペックル除去変闘器につ ように光の伝檄方向をc輪と呼ぶ。 (注意:図3、図4 及び図6は、電気光学結晶のための標準的な座標系を使 用しているのに対して、図1、図2、図8、図9及び図 10は、光が2輪に沿って伝搬する、典型的な光学の座 原系を使用している。) 結晶の他のカット及び幾何学的 形状も使用可能であるが、この第1の実施例ではyカッ hている幾何学的形状はyカットで図示され、これは、 トが最適である。

[0036] 図4は、光のピーム320が段闘器のy軸 に治って伝教している状態の、鬼気的に慰询可能なメペ ックル除去変質器160の断面図を示している。変励器 の入力ファセット及び出力ファセットは、反射防止コー 路への入射光は様々な光顔から同時に到来することが可 簡であるということは認識されている必要がある。電気 的に制御可能なスペックル除去変調器160は、いくつ に、本ゲバイスは位相面を効果的に摂動するので、変闘 かの液長及び角度範囲で同時に動作することができる。 ティングがされていれば効果的であるといえる。さら

ける空間光変闘器の画素と、電気的に制御可能なスペッ

20

ながら、主としてリニア空間光変闘器200に均一な照

ように、上部電極385と下部電極400との間を結晶 に沿って伝放する。この領域を通過する光は、次式で定 部配極400との間の領域として定義されることが可能 である。光線は、図3の×方向に沿って圏成されている [0037] 単一の変闘器部分は、上部傀権385と下 幾される位相変化△φを取得する。

【数1】 △ φ = (π / λ) n³ r³3 l V / d

[0039]数1で分かるように、位相変化△φは、印 然のことながら、入力パラメータはすべて、与えられた **坂の距離又は波数によって表されてきた。これは、遅延** と、光の波長1と、風折率nと、yカットのタンタル酸 リチウムの r 3 3 保教との関数である。 5 m m かち 5 0 を所与とすると、0Vと160Vの関の動作電圧に対し て、教波長分の位相遅延を発生させることができる。当 チャンネル又は変闘器部分に沿った多少の遅延を発生す を、媒体内での光の伝版速度で除算された遅延距離によ って与えられる時間迎延として機論することと等価であ mmまでの伝版の長さと500μmの厚さと赤のスペク トルにおける照射液長とのような妥当な製造パラメータ るように変更されることが可能である。 遅延はすべて、 加される低圧Vと、伝檄の長さしと、電極間の距離 d

ドレス時間、又はこれらの組み合わせの手段を用いて独 立して動作されることが可能である。職気的に関御可能 きさを維持するか又はさらに低域させるべく信号を駆動 た任意の与えられた配極の幅は、彼長以下の幅から文字 350, 355, 360は、図4の斯面図に示されたも のパターン化されていない電極を有することが有益であ **る場合がある。これにより、デバイスの片側の乾極に印** 成され、上記変闘器部分が、パターン化された配極構造 される制御信号に個別に応答するか又はグループで応答 することができるという意味において、鬼気的制御が可 なスペックル除去変闘器160は、アナログ電圧で駆動 される変闘器、パルス幅変闘されるデバイス、又はこれ らの組み合わせのいずれかとして使用可能である。スペ ックル除去変闘器に印加される制御信号はまた、スペッ **ードパックループから導出され、吹いむスペックルの大** するように調整されることが可能である。 x 方向に沿っ [0040] 再び図3を参照すると、複数の変調器部分 **りのようないくしかの価格によって回成されている。上** 5月間 385及び下部電極400は、各変調器部分を画 **成している。製造時には、デバイスの上部と下部の両方** をパターン化する方法に対して、デバイスの片倒に共通 加される差動電圧を用いた変闘が可能となる。本スペッ クル除去変闘器は、本デバイスが一連の変闘器部分で構 **本によってアドレス指定され、かつ予め決められて印加 抱である。各変闘器部分は、異なる印加町圧、異なるア** クルの視閣性又はコントラストの低減をモニタするフィ

のS102のような材料とともにパターン化されること が可能である。また、空気中のアーク放配を防止するた 【0041】上部電極と下部電極の極性の周期的切り替 え、又はブランキングパルスの導入が、有用なことがあ 0 における空間電荷の消散を可能にする。さらに、動作 **軽圧は非常に高くなる可能性があり、かつ光揚は十分に** 習405(図4を参照)として作用するような電極の下 は閉じ込められないことがあるので、電極は、バッファ めに、アクリル樹脂又は他の絶縁材料にてなる保護瞭4 5。こうした2極性の動作は、パルク電気光学基板37

能な、このタイプのスペックル除去変調器の一例にすぎ イスの構造は、レーが投影ディスプレイにおいて使用可 る。疫間器部分は、すべての電極を用いて、又は、電極 [0042] 図3及び図4の電気的に制御可能な電気光 **学スペックル除去変顕器160のために提示されたデバ** ない。図6gにはそのような第2の実施例が断面図で示 され、ここでは、各変闘器部分は結晶のy軸に沿って関 隔された一連の低極420乃至435で構成されてい 10が形成されていてもよい。

が、傀儡の長さと関連して、故長遅延のうちの異なる既 知の小部分を与え得るように駆動されることが可能であ 長遅延を発生するように、印加される電圧は関節可能で ある。それに加えて、電極は各変興器部分内で時間につ のうちの部分集合、例えば電極420,425及び43 0を用いて活性化されることが可能であるので、単一の (識別可能な長さを有する) 各電極は、印加された電圧 第2の電極は被長遅延の1/16を発生し、第3の電極 同じ長さの電極が、異なる波長の光に対する同じ数の波 いて個別に変異されることが可能であるため、位相はさ 駆動電圧からでも可変な避妊を提供することができる。 る。例えば、第1の電極は波長遅延の1/8を発生し、 は波長遅延の1/32を発生する、などが可能である。

で、異なる局所的な電極の幾何学配置を有している。電 電気的に制御可能なスペックル除去変調器は基本的 、て有益な電気的に制御可能なスペックル除去変闘器の 関器に比べると、本変顕器は複雑さを増しているが、制 **脚は拡張されている。図6bは、隣接する変調器部分間** 極390, 392, 395を1つの変闘器即分 (例えば 350)内に蘇陽して配置し、かの群後した/近への疾 国器部分間で電極390,397,399の位置をずら して配置することにより、変闘器は、図5cに示された 同様の結果は、隣接する変闘器部分350,355,3 【0043】図6bには、ワーヂ故歌ディスプレイにお もう1つの実施例が示されている。図6gに示された変 60間と、単一の変闘器部分350内との両方で電極間 11気的なクロストークの効果を受けにくくなっている。 に間隔をもたせることによっても達成され得る。一方 らにランダム化される。 \$

は、さらなる位相の変動を導入することによって、意図 された結果を促進することができる。飲計者がクロスト ル除去空間光変調器に係る他の例示的な構造が存在する 一クの効果を抑制することを希望する場合は、電極間に いるので、変闘器部分間にクロストークを導入すること 100内で使用され得る、電気的に制御可能なスペック る。図3、図6a及び図6bに示されたもの以外にも、 本発明に従った想到され、からワーが投影ディスプアイ ばクロストークを防止するのに十分な間隙が必要とな ということは理解される必要がある。

することができる。しかしながら、時間において、相対 【0044】スペックルの発現は、複方向の位相プロフ アイルに対する空間的な変動と、隣接領域間の時間的な 変動との両方によって低減されることが可能なので、危 気的に朝御可能なスペックル除去変闘器の動作は、これ る。前者の場合は、做方向の電界の分布が電極に対する 横方向の位相の摂動を画成する。 時間的な変動の場合に は、異なる変闘器部分で同じ電界のプロファイルを使用 的な電界は、隣接する領域が互いに同位相とならないよ うに変化させられる。理想的には、図 5 d に示されたよ うに、両方の動作方法の組み合わせが最良の結果をもた アドレスの関数として確立される。この分布は、吹に、 らの両方に適応するように変更されることが可能であ

5現われている。図7 c及び7 dは、観気的に制御可能 なスペックル除去変闘器160が光学システム内の集束 される必要がある。これらは必ずしも、11だけ離れて る。図7 a に示されたときには、変調器160にはゼロ けている。図7 bに示されたときには、変興器部分35 0に亀圧が印加され、掻曲した波描330がデバイスか らの波面の強みの徴度は精張されたものであって、単に **一般的な概念を表すためのものであるということは理解** 【0045】 電気的に制御可能なスペックル除去変陶器 160は、入射光の位相面を蚕曲する、又はスクランプ ルするように機能することができる。概念的には、図7 3及び図16において、平行化された光線の場合につい てこの効果が示され、平面上の平行な波面325が変闘 の駆動亀圧が印加され、波面325は変化せずに通りぬ する空間に配置された、同等の場合を示している。 これ 器160上へ張直に入射するように向き付けられてい 配置された故面を示したものではない。

mmの数分の1か5数メートルまで (赤/鞍/背の光パ 【0046】 曳気的に関御可能なスペックル除去変闘器 とによって彼面を鱼曲することができるが、スペックル ステムの散計にも依存する。本発明は特に、電気的に朝 米顔のコヒーワンス長より小さい海筋(ひゅ≪Cr)を 160は、空間的及び時間的な位相の摂動を提供するこ の発現に影響する変闘器の能力は、それが使用されるシ **卸可能なスペックル除去変調器が、変調器部分に沿って** 提供する場合について考察している。実際、レーザは1

梅園2003-279889

9

空間的又は時間的なコヒーレンスを目に見えるように直 後に変更するためには使用可能ではない。 幸いにも、時 間的及び空間的に変化する位相は投影される回像内のス ペックルを変化させる、又は平均化するために使用可能 であり、その変化が人の目の応答時間より遊ければ、こ るが、タンタル酸リチウムに基づいたスペックル除去数 たように、このゲスイスは、時間について奴勢する政固 nm)の徳囲にむたるコヒーレンメ吸を有する場合があ **闘器は数波長分の避延のみを提供する。従って、前述し** の蚤み又は収整を発生させるために使用可能であるが、 ラメトリック発振器型レーザの場合は0.1乃至5. れによりスペックルの知覚可能性が低減される。

[0047] 一方で、既気的に関御可能なスペックル版 ても使用可能である。例えば、アークランプのような典 チウムに払ういたデバイスによる位相違延に匹散するも のである。それに代わって、約1.0mmの遅近を有す る電気的に制御可能なスペックル除去変調器は、小さい コヒーレンス長のレーザ (OPO盤レーザ等) と組み合 わせることで、回じく基本的には避難とコヒーレンス長 な場合では、低気的に制御可能なスペックル除去変靱器 は、鉛面的なコヒーレンスと時間的なコヒーレンスの函 力を直接に変更するために、光学システム内で模々な方 法で使用可能である。制御可能な位相遅延が光疎からの 光のコヒーレンス長を大幅に超過していれば(Δ Φ≯C し)、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160 の使用によりさらに大きな劇的効果を実現することがで 去変闡器は、投供される位相避延が光頭のコヒーレンス 長と同じオーダー (△φ~CL) であるシステムにおい 型的な白色光顔はわずかに数被長分の程度のコヒーレン とを整合させることができる (Δφ~Cι)。 このよう ス長Ciと幅の光を放射するが、これは、タンタル酸リ

ンズレットアレー (178a及び178b) におけるレ ンズレットの国数 (N) は比較的少なく、~6 乃至20 と、レーザ投影ディスプレイ100内でそれが使用され 示されたようにフライズ・アイ・インテグレータ175 れる場合があり、図2bに示されたようにフライズ・ア イ・インテグレータ 175の内部に配置される場合もあ れる場合もある。1次元のデバイス(空間光変顕器20 0) を照射するために使用される典型的なフライズ・ア イ・インテグレータに基づいた光学システムでは、各レ 【0048】 スペックルの視器性を低域することにおけ る低気的に制御可能なスペックル除去変闘器 160の効 力は、特定のデバイス(図3、図6g及び図6bはこの る方法との両方に依存している。特に、処気的に制御可 他なスペックル除去変調器160は、図1及び図28に **の第1のフンメフットアフー178mに先行した配置さ** り、もしくは同様にフライズ・アイ・インテグレータ1 7.5.0年20ワンメアットアフー 1.7.8 bの後に配置さ 質の例示的なデバイスを示している)の構造及び性値 \$

S

には位相スクランプラであって、入射光の位相面を周所 化された領域でランダムに変化させることが意図されて

2

通りのミリ単位の幅までのいずれであってもよい。

これに比較すると、典型的な空間光変調器200は、比 って、256個と4096個の間の画素数でほとんどの アプリケーションに対応している。図1及び図2の幅気 較的多数 (M) の密集した画器を備えているアレーやあ 的に制御可能なスペックル除去変闘器160における変 開器部分の個数 (P) は、スペックルの視器性を低減さ 国のレンメレットで十分な光の均一性を提供している。 せるその効力によって決定され、レンズレットの個数 (N) にも変調器の画条数 (M) にもさほど依存しな

【0049】電気的に制御可能なスペックル除去変調器 (数液長に対して数mm) 、 電気的に制御可能なスペッ ある。この場合は、1個のレンズレットに対して多数の 変闘器部分が存在することになる(P≯N)。 照射シス (強曲する) ために、電気的に制御可能なスペックル際 160が、それによって導入される位相の変化又は遅延 はシー扩光ピームのコヒーレンス段に比べて小さい(△ クル除去変調器160は、図7a乃至図7dにおけるよ **うに光アームの波面を局所的に変えるように使用可能で** 去変闘器160は、結像される平面(又はその共役平面 のうちの1つ)のファーフィールド(遠視野)で使用さ れる。従って、電気的に制御可能なスペックル除去変調 器160が第1のレンズレットアレー178aに先行し **ト配置され、かしこのアンメアットアフーが空間光変調** 電気的に制御可能なスペックル除去変闘器160は、レ ンズアットアレーから最小限でも無点深度(DOF)よ テム内で、画像生成する光のピームの波面を変形する る≪Cu)という条件下で動作していると仮定すると 器200に対して画像共役である図1のシステムでは、

で、彼面構造の位相を変化させることができる。本光学 [0050] 同様に、図2ちに示されたように、電気的 に制御可能なスペックル除去変羈器160が第1のレン 786との関において第2のレンズレットアレー178 bに近接して配置されていれば、電気的に制御可能なス ペックル除去変調器160は定義によって第1のレンズ システムは、光が第2のレンズレットアレー1786の レンズレットをアンダーフィルする (すなわち、光の鷽 が不足する)ように意図的に設計されることが可能なの メレットアレー178aと第2のレンメレットアレー1 で、電気的に制御可能なスペックル除去変闘器160に これにより、変闘器部分に対する代替的かつ要件の綴和 も適当な場合としては第2のレンズレットアレー178 は、第2のレンズレットアレー178bの後に、かん最 レットアレーのファーフィールドに配置されているの 必要なフィルファクタは低減されることが可能であり された電極アドレス指定方式が可能にされ得る。同様 に、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160

\$

トとコンデンサレンズ185との間に配置されることも 可能である。これらの様々な場合に対して、鑑気的に制 **踋可能なスペックル除去変隅器160によって誘発され** る波面の収差は、大部分、スペックルの生成に寄与する ム整形光学装置によって提供される画像生成の品質にも 影響し、これにより、照射される領域のエッジに幾分か **夜面の局所的な干渉に影響する。この構成はまた、ピー** の軟調 (softness) を発生させる。

10051] それに代わって、魔気的に制御可能なスペ ックル除去変調器160がレーザ光のコヒーレント長に するこの同じ場合には、電気的に制御可能なスペックル せるよりもむしろ、光を散乱させるか又は回折させるデ 1フューザのように機能するように、光学システム内に 20置されることが可能である。この場合、変調器部分の B数はレンズレットの個数より多く(P≫N)、電気的 比ペて小さい位相の変化又は遅延(Δ Φ≪CL)を提供 徐去変闘器は、照射システム内の結像する波面を変化さ に制御可能なスペックル除去変闘器160は、照射シス テム内の結像する平面のニアフィールド(近視野)に配 置される。すなわち、電気的に制御可能なスペックル除 去変闘器160は、公称では、第1のレンズレットアレ 一178gの直前又は直後に配置され、かつ公称では共 役画像平面(空間光変調器200において画像平面に共 散である。) のニアフィールド内 (<10×DOF) に 存在している必要がある。 9 20

クル除去変闘器160が、それによって導入される位相 の変化又は避難はソーザ光顔110からの光のコヒーレ ンス長と同じオーダーである(Δφ~Cu)という条件 下で動作していることが仮定されていれば、本ゲバイス の個数と同一であり(P=N)、かつ複数の変調器部分 ズレットに対応して盤列されていれば、与えられたレン は、10の光アームに関する光の相対的な時間的コヒー アンスに対した、街のものに関した直接に影響するいと がたきる。この場合、変闘器部分の個数がワンメワット がレンズレットアレー178mのうちの与えられたレン 内にその独自のスペックルパターンを生成するが、スペ ックル全体は、変闘器部分のランダムな駆動に伴って時 核密な制約も存在しない。 同様に、電気的に制御可能な 間、もしくは第2のレンズレットアレー178bの直後 時間的コヒーレンスは他のものに関して変更される。各 間的に変化する。この場合、電気的に制御可能なスペッ クル除虫変調器160は第1のレンズトットアレー17 フィールド又はニアフィールドの位置に関するいかなる スペックル除去変鋼器160は、第1のレンズレットア ピームは、空間光変調器200において照射される領域 **メレット及び変闘器部分を通過する光アームについて、** レー178aと第2のレンズレットアレー178bの 88に先行して配置されることが可能であるが、ファ

CL)位相の遅延がコヒーレンス長よりかなり大きい場 合(2倍~3倍又はこれ以上)に、さらに良好に動作す

阿爾2003-279889

2

20 [0053] それに代わって、電気的に制御可能なスペ ックル除去変調器が、通過する光の相対的な時間的コヒ **-レンスに直接に影響することができるように、それに** よって導入される位相の変化又は遅延がレーザ光顔 1 1 0からの光のコヒーレンス長と同じオーダーである(4 と空間的にランダム化するために使用可能である。この されるのではなく、1 しの空間的な領域のコヒーレンス か∼Cu)という条件下で動作する、電気的に制御可能 とが可能である。この場合、電気的に制御可能なスペッ クル除去変調器は、各レンズレットアレーにわたってコ ヒーレンスを空間的にランダム化し、従って空間光変調 器200及びスクリーン215にわたってコヒーレンス **列では、電気的に制御可能なスペックル除去変調器16** 0 は、小さな位相の収差で波面を変化させるために使用 を他のものに関して変化させ、ほぼ非コヒーレントな光 頭を効果的に合成するために使用される。変調器部分の 固数がレンズレットの個数より適度に多ければ(例えば P=8×N)、電気的に制御可能なスペックル除去変調 て配置されることが可能であるが、(変闘器部分が可視 光を回折、散乱又は散乱させるほど小さくない限り)フ ナーフィールド又はニアフィールドの位置に関するいか ットを通過する光のピームが、比較的大きな複数の隣接 状態 トワーデアメスプァイ 1000円 部に 最供 されめい 器160は第1のレンズレットアレー178gに先行し なる厳密な制約も存在しない。この場合は、各レンズレ した領域へと分割され、時間的コヒーレンスはこれらの 領域内で変動する。しかしながら、ワンメレットの個数 8 a のニアフィールドに配置される必要がある。この場 (P) がレンズレットの個数 (N) より多い (P>N) N)、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160 がむしろディフューザのように機能する場合は、スペッ は、レンメレットアレー1788の直前又は直後に配置 る。)のニアフィールド内(<10×DOF)に存在し クル除去変觸器160は第1のレンズレットアレー17 ている必要がある。スペックル除去変調器160によっ て提供される位相の遅延がコヒーレンス長より(△ Φ > 【0054】要約すると、レーザディスプレイシステム なスペックル除去変闘器160は、変闘器部分の個数 合、電気的に耐御可能なスペックル除去変調器160 されることが可能であり、かつ公称では共役國像平面 上)、これらの構成はさらに良好に動作するであろう。 に比較して多数の変調器部分が存在するので (P> (空間光変顕器200において画像平面に共役であ C1)かなり大きい場合は (2倍~3倍又はこれ以

【0052】これに対して、概気的に耐御可能なスペッ

り大きくオフセットされ、最適な場合としては、この共

役平面のファーフィールドに存在している(約>10×

ルを含まない画像を提供するように設計されている。デ **ーレントな入射ピームを、多数の、より小さく、空間的** な服射の領域を生成するために、再び結像される複数の イフューザ150を使用することは、光の有効なラグラ ンジュ又はエタンデュを画成しなおすだけでなく、コヒ パームレットに光を分割する、 レライメ・アイ・インテ にわたって重複することによってさらなるスペックルの **小除去変闢器160の使用は、照射光の一部の局所的な** 位相を照射光の他の部分に関して分裂させる手段を提供 し、これにより、局所的な空間的及び/又は時間的なコ なコヒーレンスの小さい故面に分割する。従って、均一 ディフューザからの多くの局所的な寄与分をスクリーン 低減をもたらす。最後に、電気的に制御可能なスペック ヒーレンスの関係が変化する。これにより、周所的な波 グレータ175のような光積分システムの使用もまた、 面の位相構造、故面間の時間的なコヒーレンスの関係、

又は空間領域にわたる時間的なコヒーレンスのいずれか を変化させることができる。さらに、レーザディスプレ フューザ150が、散乱させる表面の少なくとも特有の な運動を伝達する運動機構に装著させることが可能であ (>40Hz)。 次に、スペックルの視路性は、 画像の 空間的広がりの全体にわたり局所的な領域におけるスペ イ100におけるスペックルを低減するためには、ディ **や徴のサイズだけは移動するように、ディフューザ15** 0を、ディフューザにリニアの、回転の、又はランダム ックルの位置及び大きさを時間について平均化すること より、スペックルパターンを無相関化することによって るということに注意する必要がある。運動の周波数は、 フリッカの周波数より大きいものでなければならない さらに宛滅される。

分であるといってよい。この場合は、ワーザディスプレ イシステム100はディフューザ150なしで構成され [0055] その構成及び動作に依存して、電気的に制 提供される光顔のラグランジュにおける小さな変化で十 卸可能なスペックル除去変調器160は、光顔のラグラ ンジュ又はエタンデュを実際に計測可能な程度に増大さ せるために、光ピームに対して、回折又は散乱のような 十分な位相摂動を与えることができる。アレー方向に比 **效的コヒーレントな照射を必要とするリニア空間光変調** 器200を使用して散計された投影システムの場合、投 影システムの画像生成の必要条件を満たすためには、鵯 気的に制御可能なスペックル除去変調器160によって ることが可能である。

ただ1つの円柱レンズである交強アレーコンデンサ19 5を備えた、簡単化された光学システムを示していると いうこともまた理解される必要がある。交差アレーコン これをリニア空間光変調器200との相互作用のために [0056] 図1及び図2gの交差アレー光学装置は、 デンサ195は、交差アレー方向の光ピームを調整し、

最適伤する。このアー4脳敷には、複数の圧柱ワン火器

20

スクリーン215上に投影された、知覚可能なスペック

100は、スペックルの低減/無相関化(de-correlati on) の技術の組み合わせを使用することにより、遠隔の

に配置されることが可能である。この構成は、(ΔΦ>

20

— (241a) から最後のミラー (241e) へと補改 商には、光学距離の整(Δd)は、レーザ110のコヒ に動作する。しかしながら、R個のビームレットはコヒ 240を使用して、複合レーザピーム250のコヒーレ 個の部分反射するミラーより成る装置を備えている。最 スプリッタアレー240の複数のミラーは、最初のミラ 増加する反射母によって、部分的に被過しから部分的に 反射している。ピームスプリッタアレー240は、複数 のミラーのアレーとして示されているが、プリズムアレ レー240は、R個のピームレットを使用して複合レー ザピーム250を生成する、ピーム拡大器として効果的 [0051] 図8に、レー扩散彫ディスプレイ100の る。 ピームスプリッタアレー240は、レーザのコヒー レント長のオーダーであるか又はこれより長い、 僻後す - アンス嵌C: と回じオーダーのサイズである。 ピーム 一及び他の構造も使用可能である。 ビームスプリッタア **六替符段が示され、いいかは、アームスプリッタアフー るピームレット245間の光学距離の長さの铅(Δd)** を有する一連のピームレット245を生成する、(R) ンスを減少させるように光学距離遅延差を損供してい

時間的なコヒーレンスは、複合レー步化ーム250の空 dı, △dz, △da, など…)を進行するので、光の **−レンス長C に見合う異なる光学距離の長さ(Δ**

間的な広がりにわたって変化する。理想的には、R個の アームレット245のそれぞれは、他のものに関して時 間的に非干渉性である。しかしながら、複数のピームレ ット245にてなるグループが互いにコヒーレントとな るように時間的なコヒーレンスの変化がもっと遅い場合 かむりたち、フー护1100コヒーアント略光の状態が **専問的に協動して、これらのグループ化は時間的にラン** ダムに変化する傾向があるため、この方式は依然として 有用である。

は、電気的に制御可能なスペックル除去変調器160を 場合でも、非干渉性の状態で加算されて全体の平均化を **夷現する。いくつかのさほど重大でないアプリケーショ** ンではこの程度のスペックルの低減で十分な場合がある **一ザビーム250をさらに幾分か均一にしかつコヒーレ** メレットアレー178a及び178bには、少なくとも ィフューザ、与えられたピームに使用されるM個のフラ って決められる、その独自の敬却なスペックルパターン を生成することである。M×R個のスペックルパターン 使用しない場合、又はディフューザ150が動作しない ザディスプレイシステム100は電気的に制御可能なス [0058] 典型的なレーザピーム115は、不均一な れも不均一となり、同様に、複合レーザビーム250も 下均一となる。図1のシステムの場合には、画像生成の が抑入されている。ディフューザ150はまた、複合レ ンスを低減させるように働く。同じく前述のように、空 **開光変闘器200において照射の均一さを改善しかつス** この場合は、第1のアンメアットアレー178gが各ア ームレット245にM個のレンズレットを照射させるよ うに散計されているため、各ピームレット245は光パ 合計M×R個のレンズレットが存在する。スクリーン2 15における効果は、R個のレーザピームの各々が、デ **イガ・アイ・ワンメワットのペア、及びスクリーンによ** 光の強度のプロファイルを有するので(ガウスプロファ イルだー般的である。)、 アームレット245のそれぞ 必要条件に合わせるように有効な光頭のラグランジュ又 はエタンデュを変化させるために、ディフューザ150 ペックルの視點性を低下させるために、フライズ・アイ ルブにおいて均一な風射に変換される。従って、各レン ペックル除去変興器160を迫加してさらに改善され ・インテグレータ175が使用される。しかしながら、

に対して寄与する効果をもたらす。

る。核合レーザビーム250内の時間的なコヒーレンス め、適用される位相の変化がコヒーレンス長より小さい ックル除去変調器160を使用してピームレット245 場合のように、電気的に制御可能なスペックル除去変闘 器160は、それがピーム整形光学装置170の共役画 像平面のファーフィールド (焦点深度 (DOF) のかな は既に重要な変数 (significantly variable) であるた (Δ Φ ≪ C L) と仮定すれば、鬼気的に関御可能なスペ 内の位相の故画を変化させることができる。先の蹂躏の

即可能なスペックル除去変開器160がコヒーレンス長 2のアンメレットアレー1~8 b に近接した、図2 b の に匹敵する位相の変化を投供すれば (Δ o ~ C L)、本 変調器を使用してM個のレンズレットの各々における倒 城にわたって時間的及び空間的コヒーレンスを変化させ り外側) に存在するように、レーザディスプレイ100 されることが可値である(図8を参照)。同様に前述の ように、 概気的に制御可能なスペックル除去変調器16 0は、共役国像平面のファーフィールドの下規例に、第 ようにその前に配置されるか、又は後に配置されるかの のいずれかが可能である。それに代わって、匈奴的に制 ることができる。ここで、これらの個域は、光の波長と Aに第1のレンメレットアレー178gに先行して配図 比較して相対的に大きい(よって散乱も発散もしな

る。その場合、フライズ・アイ・インテグレータ175 し、ここで、上記レンズレットは球面を有している。回 連して説明されてきた。電子的投影システムにおいて使 類のものが存在するが、特に液晶光パルブ(LCD)及 関して、1 次元の空間光変闘器から2 次元のタイプへ切 り換えることによる主たる影響は、照射光学装置と電気 は、典型的には、2次元パターンに展開されたフライズ ・アイ・アンメフットのアンー178 (a, b) を使用 様に、ディフューザ150は、図1のリニアシステムで は好適な1次元の散乱ではなく、関御された2次元(又 は、フィジカル・オプティクス・コーポレーションから り、又はコーニングーロチェスター・フォトニクス・コ p.)からランダム化されたマイクロレンメアレーとして に係る本発明が、1 次元の光変調器を使用することに関 用可能な、2 次元 (関域) の空間光変関器には広範な領 が卓越している。図1のレーザディスプレイシステムに 的に制御可能なスペックル除去変調器160との両方が に、電気的に制御可能なスペックル除去変開器及び空間 ぴゃイクロメカニカルミラーアレー (テキサス・インス 2次元で動作するように変形される必要があることにあ 光変闘器の両方を利用するワーザディスプレイシステム ツルメンツからのデジタル・ミラー・デバイスを含む) ホログラフィック・ディフューザとして利用可能であ は球面)の散乱を提供する。このようなディフューザ [0059] これまでは、画像データを伝達するため ーポレーション (Corning-Rochester Photonics Cor **印用可能である。**

ル除去変調器を構成することが可能である。また、2次 [0060] 図3、図4、図6g及び図6bに詳細に示 (スタックする) ことにより、もしくは一遠のこれらの された空間的な光の電気的に関御可能なスペックル除去 変闘器160の様々な実施例は、1次元又はリニアのデ デバイスを光学システム内のオフセットした位置に配置 することにより、2次元の電気的に傾御可能なスペック バイスである。一連のこれらのデバイスを積み低ねる

你国2003-279889

Ê

元情成として使用するためにより導電性のある他の電気 光学材料を使用し、次いで2次元の函像変闘する空間光

校園器のアレーを有するレーザディスプレイシステム内 に配置されることが可能な、他のタイプの電気的に傾御 可能なスペックル除去変調器を設計可能であるというこ

[0061]例えば図9は、LCDのような倒岐型の変 国路アフーや伊田十のフー声故形アメスプァイ 1000 ーザパーム115を放射し、ワーザパーム115は、好 関光変闘器(液晶ディスプレイ255)を照射するため に、ピーム拡大光学装置120とディフューザ150と 斯面図を示している。 位述のように、レーザ110はレ **ズ・アイ・インテグレータ175と、観気的に観御可能** 器及びスクリーン215における2次元にわたるスペッ クルの存在を低波するために寄与する。 図1のシステム とは異なり、図9のシステムでは、2次元のスクリーン 欠いで、哲道のように、ディフューザ150と、フライ なスペックル除去質顕器160とはすべて、空間光質闘 ビーム整形光学装置170とによって予め調整される。 とも理解される必要がある。 9

た光によって形成される。公称では、時状態 (dark sta ペックル除去疫間器160も、本来のこの偏光コントラ ストの程度を有意に低下させないということが必要であ ディスプレイ255)をスクリーン215に直接に結像 疫闘された、回像を生成する光ピーム275は、偏光ピ た向きで使用される。典型的なレーザ光頭は偏光を放射 するので、図9のフーサゲィスグレイ100ではブレボ ラライザ260を使用する必要のない場合がある。その 母のは、フーヂアー4115は、フーヂ110によりた 0:1)、ディフューザ150も危気的に慰御可能なス 上の回像は走査によって形成されるのではなく、投彫レ ンズ205を使用することによって空間光質顕陽(液晶 スプリッタ265を通過する。液晶ディスプレイ255 **一ムスプリッタ265から反射される、偏光が回転され** te) を画成するために偏光アナライザ270が交換され **する。既牡光は、どっポサライヂ260及び留光アーム** この光の偏光状態を固禁に基ろいて回転させる。投影フ は印加されるコマンド信号に従って、照射光を仮図し、 ンズ205によってスクリーン215~と向けられる、 放射されるときに十分に偏光されていて (例えば10 20

の基準で利用する。本システムは図1に示されたシステ [0062] 同様に、図10は、テキサス・インスツル メンツから利用可能なDLPチップのようなマイクロメ 制御された個光の効果に依存する、液晶空間光変調器を 用いたシステムとは異なり、マイクロメカニカルミラー アレー280は光のピームレットの角度の制御を固耕毎 ムと実質的に同じであるが、照射が、マイクロメカニカ ルミラー光アレー280を超えて開口部290へと典束 カニカルミラーアレー280を使用するレーず投影ディ スプレイの断面図を示している。光を変闘するために、 20

20

特開2003-279889

9

33

20 30 プレイに対して向けられる。システムは、別個の光学距 [0063] 簡単化のために、本発明は、単一のレーザ と単一の空間光変闘器とを使用して実地説明されている が、より一般的な議論がフルカラーのRGB投影ディス **塵をたどって歯々の赤と祿と青の空間光変騆器を照射す** る、別個の赤と緑と青の光ビームによって構成され得る 供する。別個の赤と様と背のビームは、3つの別々のレ 典型的には投影レンズの前に配置された×プリズムによ って結合された色となり、結果的に生じる光ビームがス ーザから、非線形光学装置の組み合わせを使用して3つ ら、もしくは、後で色を分割される単一の白色光レーザ のビームを出力する 1 クのO P O型フーかくッケージや ピーム出力を供給するように統合化されたOPO型レー クリーンに結像されて多色 (polychormatic) 画像を提 ことは理解される必要がある。変闘された光ピームは、 ザパッケージから発生されることが可能である。

9 [発明の効果] 本発明は、光学システムの照射部分内に 配置された電気的に制御可能なスペックル除去変調器に より、投影される画像においてスペックルが低減される する。それに加えて、このスペックル除去手段は、従来 にはより多く行われているように画像生成光学装置内に に、照射システム内のスペックル除去変調器の散計及び レーザディスプレイシステムを提供する。 プロジェクタ 内に統合化された散計を使用してスペックルを除去する ーション及び散計が変わる可能性のある、振動するスク リーンのような外部手段に依存しないということを意味 クルは、スクリーン上の画像品質に影響を与えることな く知覚可能な限界よりも低下させることができる。さら 動作を調整することにより、このシステムは、フィード この方法は、システムの動作性能が、劇場毎にアプリケ おいてではなく照射システム内で機能するので、スペッ パックシステムを用いてオンザフライで最適化される

進化するのに伴って段階的に最適化されるかのいずれかが可能である。最後に、このシステムは当然ながら、職様的から電気的に承確であり、光効率が良く、アラインメント不良に対して観慮ではない。 【図画の簡単な説明】

[図1] 本発明に係る、電気的に耐御可能な電気光学スペックル除去変調器とリニア空間光変調器とを有するレーザディスプレイシステムの負担図である。

【図2a】 本発明に係る、亀気的に制御可能な電気光学スペックル除虫変顕器とリニア空間光変顕器とを有するレーディスプレイの新面図である。

[図3] 本発明に使用される、亀気的に耐御可能な電気光学スペックル除去を実行する時間/位相違延衰闘器の第1のパージョンの向表図である。

[図4] 本発明に使用される時間/位相連延変調器の 第1のパージョンの断面図なわる。 【図5a】 視線性スペックルを呈示する光学システム の出力の位相プロファイルを表す図である。 【図56】 低減された視路性スペックルを有する光学システムの出力の位相プロファイルを表す図である。

システムの出力の位相プロファイルを表す図である。 【図5c】 クロストークを呈示する、電気的に制御可能なる。 これのエール・エールー

能なスペックル除去変調器の出力の位相プロファイルを表す図である。 「図54】 (境方向及び時間について変化する位相接動の両方を有する複数的に開卵可能なスペックル除去変調の両方を有する複数的に開卵可能なスペックル除去変調

器の解核する範囲器部分間の相対的な位相違應を示すチャートである。 「図6a」 本知明のソーザ投影ディスプレイにおいて 使用可能な、代替の亀気的に制御可能なスペックル除去

[図2 6]

[図]

変闘器の料ゼ図である。 【図6b】 本発明のレーザ投影ディスプレイにおいて 使用可能な、代替の電気的に耐御可能なスペックル徐生 変顕器の斜視図である。

[0064]

[図7a] 本発明に係る変調器の効果を、入射する平行化された光線の場合に、影響を受けない後面に関してイナロのものである。

【図7b】 本発明に係る変顕器の効果を、入封する平行化された光線の場合に、蛋曲された波面に関して示す図である。 図である。

[図7c] 本発明に係る変闘器の効果を、入射する集

年する光線の場合に、影響を受けない弦面に関して示するである。 図である。 【図74】 本発明に係る変調器の効果を、入射する集末する光線の場合に、アポートされた弦面に関して示す **【図8】 コヒーレンス長のオーダーの複数の連延を組み込んだ、本発明に係るアーザディスプレイシステムの代替の実施形態の断田図である。**

図である。

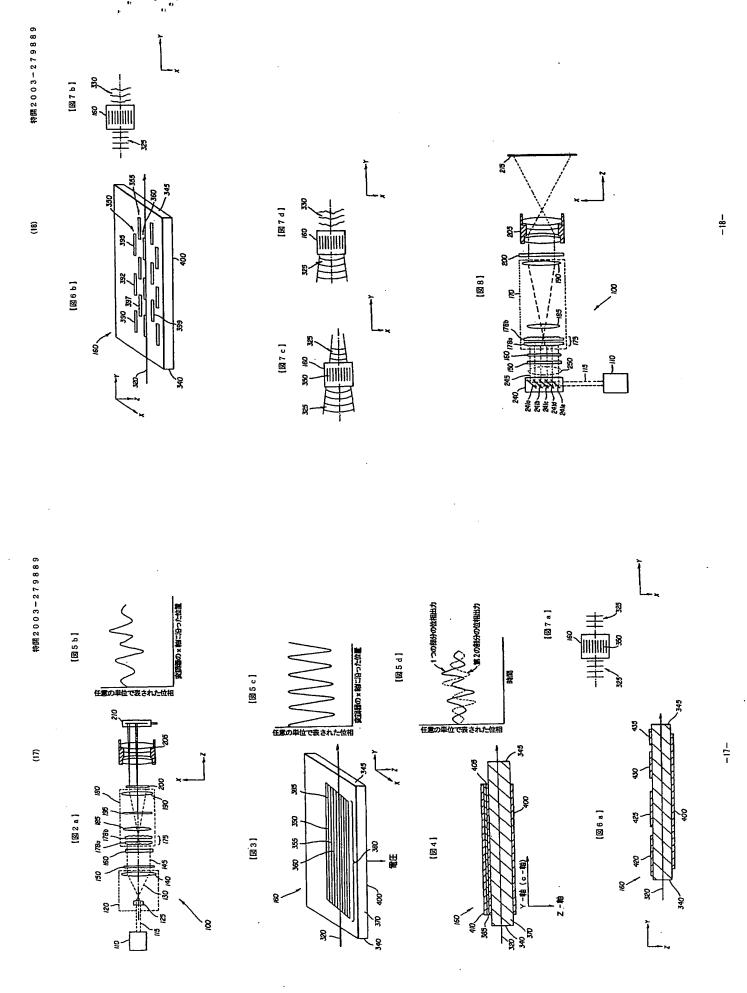
390, 392, 395, 397, 399, 420, 4 275…変闘された画像を生成する光ピーム、 280…マイクロメカニカルミラーアレー、 350, 355, 360…疫調器部分, 240…ビームスプリッタアレー. 241a乃至241e…ミラー、 2 6 5…個光ピームスプリッタ、 370…パルク材料又は基板、 25, 430, 435…電極 255…液晶ディスプレイ、 250…協やフーヂアー4、 260…プラギャシィギ、 270…偏光アナライザ、 340…入力ファセット、 345…出力ファセット、 330…留由された改酎、 245…ビームレット、 405…パッファ層、 225…領域画像、 380…遅延倒焼、 385…上部亀極、 400…下部電極、 285…体止部、 290…四日野 110…保護膜。 325…故西, 320…光, 9 20 別に係るレーザディスプレイシステムの代替の実施形態 [図9] 被晶ディスプレイ光パルブを使用する、本発 |図10| マイクロアレー光ベルブを使用する、本発 flに係るレーザディスプレイシステムの断面図である。 |60…電気的に制御可能なスペックル除去変闘器。 15…フライズ・アイ・インテグレータ 00…レーザディスプレイツステム、 . 78 a…第1のレンズレットアレー、 1786…第2のワンメワットアレー、 2 1 0…ガルバノメータミラー、 195…女樹アレーコンドンサ 200…リニア空間光変調器、 . 20…ピーム拡大光学装置 |45…平行化されたピーム 180…ピーム整形光学装置 140…コリメートレンズ 185…コン扩ンサワンズ、 115…フーザアーム、 50...7172--1.25…発散ワング、 30…発散アーム、 190…福野フング、 215 ... スクリーン、 205…故影フング、 220…線状画像 110...14 の断面図である。 [你号の説明]

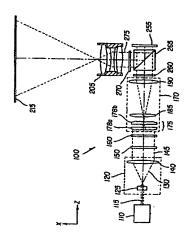
135 m 175 m

20

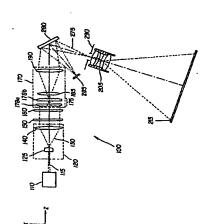
か、又はレーザ光顔及び空間光変調器の技術が経時的に

-16-





[図10]



フロントページの統む

ツフォード、シーダーウッド・サークル18 アメリカ合衆国14534ニューヨーク州ピッ (72)発明者 スジャータ・ラマヌジャン

Fターム(参考) 2K103 AA01 AB04 AB10 BA01 BC23

8

特開2003-279889

[外国語明細書]

÷

LASER PROJECTION DISPLAY SYSTEM

FIELD OF THE INVENTION

display apparatus having means for reducing the appearance of coherence-induced 5 laser as a light source. More particularly, the invention relates to laser projection The invention relates to projection display apparatus employing a artifacts and speckle in the display.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Projection display systems for the display of video images are wellknown in the prior art. These systems can take the form of a white light source, most notably a xenon are lamp, illuminating one or more light valves or spatial light modulators with appropriate color filtering to form the desired image, the image being projected onto a viewing screen. 0

Lasers have been known to be attractive alternative light sources to are lamps for projection displays. One potential advantage is a wider color gamut featuring very saturated colors. Laser illumination offers the potential for simple, lasers for projection display has been the historical lack of a cost-effective laser contrast when paired with some spatial light modulators. One disadvantage of low-cost efficient optical systems, providing improved efficiency and higher 2

source with sufficient power at visible wavelengths. However, such lasers (albeit, still high cost) are now produced by JenOptik and Lumera Laser, GmbH, and are mode-locked, diode-pumped, solid-state lasers, each with a nonlinear-optical system featuring an optical parametric oscillator (OPO) to simultaneously generate red, green, and blue light. This system has been disclosed by 8

Issued May 15, 2001; and by Nebel in US Patent 6,233,089, issued May 15, 2001. Another example disclosed by Moulton in US Patent 5,740,190, issued April 14, Wallenstein in US Patents 5,828,424, issued October 27, 1998, and 6,233,025 1998 is developed by Q-Peak and is a Q-switched DPSS laser with an OPO ystem to simultaneously generate red, green, and blue light. ដ

laser display systems. Examples of two-dimensional spatial light modulators are Spatial light modulators provide another component that enables

ဓ

8

2

array modulators and raster-scanned systems are the absence of scanning required. wide tolerance for reduction of the spatial coherence of the illuminating beam. On mmunity to laser noise at frequencies much greater than the frame refresh rate (> modulators available from JVC, Three-Five, Aurora, and Philips, and micromitra 120 Hz). A further advantage of two-dimensional spatial light modulators is the reflective liquid crystal modulators such as the liquid-crystal-on-silicon (LCOS) Instruments. Advantages of two-dimensional modulators over one-dimensional absence of streak artifacts due to non-uniformities in the modulator array, and arrays such as the Digital Light Processing (DLP) chips available from Texas Ś

the other hand, some valuable modulator technologies can be readily fabricated as Bloom et al.; the conformal grating modulator, described in US Patent 6,307,663 modulator described in US Patent 6,084,626 issued July 4, 2000 to Ramanujan et Light Machines and described in US Patent 5,311,360 issued May 10, 1994 to constructions are more limited. Examples of one-dimensional or linear spatial ight modulators include the Orating Light Valve (GLV) produced by Silicon issued October 23, 2001 to Kowarz, and the electro-optic reflective grating tigh fill factor one dimensional devices, although the two dimensional 2 2

Although high power visible lasers offer new opportunities for the and simplified optical designs, laser light is in other ways not optimum for use in design of projection systems, including the possibilities of expanded color gamut image projection systems with spatial light modulators. In particular, lasers are optical volume (etendue or lagrange). Etendue is the product of the focal spot very bright sources, which emit generally coherent light within a very small ន

light lamp source, such as an arc lamp. With such a small lagrange, lasers can be wavelength laser with a diffraction-limited beam has a lagrange of about 0.3 µm, area and the solid angle of the beam at the focus. Lagrange is the product of the focal spot radius and the numerical apenture. Por example, a single mode green used very effectively in raster scanning systems, including those for flying spot which is about 15,000 times smaller than the lagrange for a conventional white 8 ສ

printers and laser light shows, where a tightly controlled beam is desirable.

On the other hand, in an image projection system, in which an ÷

calculated similarly. In many white light projection systems, the projection leas is the linear size of the projected area (size of the spatial light modulator) multiplied by the numerical aperture of the collection lens. The related quantity, etendue, is ultimately undesirable. In such an imaging system, the lagrange is determined by mage-bearing medium such as a film or a spatial light modulator is imaged to a typical white light lamp source overfills both the light valve and the projection screen or a target plane, the high coherence and small lagrange of the laser is quite fast (f/3 for example) to collect as much light as possible. Even so, the

' ,, ,, * ·

without overfill. However, a standard white light larm, with a typical lagrange of lens, and significant light is lost. For example, in a representative system using a 2-10 mm, is not sufficiently bright and will generally overfill this representative common 0.9" diagonal light valve and an 673 projection lens, the optimum light source would have approximately a 2.0-mm lagrange to provide proper filling 9

In the case of a laser display system using image area projection (as with a coherent source, because of the potential for interference effects, such as bright. Furthernore, it is not desirable to illuminate the spatial light modulator opposed to raster scanning), the opposite problem arises, the lasers being too

system.

2

with a center discontinuity, or any dust or imperfections on the optical elements fringes, which may overlay the displayed image. Diffraction artifacts can arise from illuminating the grid electrode pattern of a liquid crystal panel, an X-cube brightness (or an increase in the source lagrange) is a necessity for such Inser with a highly coherent beam of light. Therefore, a reduction of the source projection systems. z ន

important opportunity. The projection display optical system can be designed to efficiency, and system simplicity. By defining the system f-number on the basis A defined reduction of the source brightness can also provide an optimize and balance the system requirements for resolution, system light

of a criterion other than system light efficiency, the specifications on other system components such as the projection lens, color filters, and polarization optics can 8

While laser sources can be optimized for use in projection display illumination and imaging systems, there is the consequent major disadvantage of speckle to be dealt with. Speckle arises due to the high degree of coherence (both spatial and temporal) inherent in most laser sources. Speckle produces a noise component in the image that appears as a granular structure, which both degrades the actual sharpness of the image and annoys the viewer. As such, the speckle problem, as well as the historical lack of appropriate laser sources, has inhibited the development of marketable laser-based display systems.

'n

The prior art is rich in ways of attempting to reduce speckle. One common approach is to reduce the temporal coherence by broadening the linewidth of the laser light. Other approaches to reducing the temporal coherence are to split the illuminating wavefront into beamlets and delay them relative to each other by longer than the coherence time of the laser, see for examile 1S

2

- each other by longer than the coherence time of the laser, see for example US Patent 5.224,200, issued June 29, 1993 to Rasmussen et al. Dynamically varying the speckle pattern by vibrating or dynamically altering the screen is another way of reducing the visibility of the speckle pattern; see, for example, US Patent 5,272,473 issued December 21, 1993 to Thompson et al. Another speckle
- 20 reduction approach involves coupling the laser light into a multimode optical fiber and vibrating the fiber to cause mode-scrambling as described in US Patent 3,588,217, issued June 28, 1971 to Mathisen.
- Another family of de-speckling solutions uses a diffusing element that is moved or vibrated within the projector system. Typically, this is done at an intermediate image plane, as disclosed in US Patent 4,035,068, issued July 12, 1977 to Rawson. One disadvantage of this approach is that the diffusion must occur precisely at the irrage plane or a softening of the image will occur. Also, the projection lens is complicated by the requirement to provide an intermediate image plane. A means of dynamically varying the speckle pattern by dynamically
 - 30 diffusing the laser beam in the illumination path of the device would be preferable. A hologram illumination system utilizing this approach has been

(24)

特開2003-279889

disclosed by van Ligten in US Patent 3,490,827, issued January 20, 1970, in which a diffuser is rotated in the focus of a beam expander. Florence discloses in US Patent 5,313,479, issued May 17, 1994, illuminating a light valve through a rotating diffuser. These approaches have the disadvantage of nox being adaptable

- 5 to uniform efficient illumination of a rectangular spatial light modulator.

 Butterworth et al. in US Patent 6,005,722, issued December 21, 1999, disclose a system in which a variable-thickness plate is rotated in the illumination of a light pipe homogenizer. When used with lasers, though, light pipe homogenizers require either a large numerical aparture or a substantial length to achieve
- 10 sufficient uniformity, and offer less control with fewer degrees of design freedom than systems designed with fly's eye optics. Therefore, it is harder to control the illumination brightness while producing a uniform illumination in a compact parties.
- Finally, the laser projection system disclosed by Trisnadi in US

 Patent 6,333,984, issued November 27, 2001, describes a design in which a
 wavefront phase modulator is used to impart a structured phase profile across the
 imaging beam. Image data is imparted to the beam by means of a linear GLV
 type spatial light modulator. This modulator is finaged to an intermediate plane
 where the wavefront modulator resides, and the intermediate image is
 - subsequently re-imaged to a sereen, with the image scanned out through the motion of a galvanometer. This system redies on the fact that a static phase profile, which is provided by the wavefront modulator, is imparted to the line image in the narrow (in-scan) direction. At any instant of time, a single point on the screen will be illuminated by one point on the phase profile. The total
 - intensity at a single point on the street is the "incoherent" addition of all the phases. Further the phase profile of the wavefront modulator must be such that the interference effects from the high and low phase steps generally cancel each other out. While the system of the '984 patent does provide some speedlo reduction, the fact that wavefront modulator is located at an intermediate image
- 30 plane within the imaging system, rather than within the illumination system, compromises the system performance, as the phase changes are limited by the

8

÷

aforementioned wavefront modulator is a static device, which is constructed as a passive spatially variant phase grating, it provides less control and variation of phase than an active device, and therefore potentially less speckle reduction. constraint of not significantly effecting image quality. Also, as the

Another disadvantage of using a laser as a light source in an image uniformities in the film layers. Diffraction ordfacts orise from illuminating a grid artifacts in the light valve. This is especially true of liquid crystal modulators, electrode pattern in the light modulator with a highly coherent beam of light. projector is the susceptibility of interference or the occurrence of diffraction wherein the thin-film structure can result in fringes in the image due to non-9

There is a need therefore for a laser-based display system that uses a spatial light modulator, allows control of the illumination brightness to opturize system design, and exhibits reduced speckle and climinates coherence artifacts at the spatial light modulator while exhibiting high throughput efficiency.

SUMMARY OF THE INVENTION

5

spatial light modulator, beam shaping optics for shaping the expanded laser beam The need is met according to the present invention by providing a to provide uniform illumination of the spatial light modulator, the beam shaping temporal and spatial phase of the light beam; and a projection lens for producing having a coherence length; a beam expander for expanding the light beam; a located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics; an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the display apparatus that includes a laser light source for emitting a light beam optics including a fly's eye integrator having an array of lenslets; a diffuser

ន

ADVANTAGES

an image of the spatial light modulator on a distant screen.

23

The present invention provides for a laser display system in which speckle is reduced in the projected image by means of an electrically controllable projector, means that the operational performance of the system does not depend despeckle modulator positioned within the illumination portion of the optical system. This method of de-speckling, using an integrated design within the

8

梅田2003-279889

(56)

-7-

functions within the illumination system, rather than within the imaging uptics, as and design from one theatre to another. Additionally, as this de-speckling means on external means, such as the vibrating screens, which may vary in application is more conventionally done, speckle can reduced to below perceptible limits

- without impacting the on screen image quality. Furthermore, by tuning the design progressively, as the laser source and spatial light modulator technologies evolve over time. Pinally, this system should be mechanically and electrically robust, and operation of the de-speckle modulator within the illumination system, this system could be optimized either on-the-fly with a feedback system, or light efficient, and insensitive to mis-alignment.

2

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

electrically controllable electro-optic de-speckling modulator and a linear spatial Fig. 1 is a perspective view of the laser display system with an light modulator according to the present invention;

electrically controlled electro-optic de-speckling modulator and a linear spatial Fig. 2a is a cross-sectional view of the laser display with an light modulator according to the present invention; 2

Fig. 2b is a cross-sectional view of an alternate configuration for a portion of the laser display optical system depicted in Fig. 2a,

Fig. 4 is a cross-sectional view of the first version of the time/phase controllable electro-optic de-speckling time/phase delay modulator used in the Fig. 3 is a perspective view of a first version of the electrically present invention; ន

Fig. 5a is a representation of the phase profile of the output of an delay modulator used in the present invention;

2

Fig. 5b is a representation of the phase profile of the output of an optical system exhibiting visibility speckle;

optical system that has reduced visibility speckle;

Fig. 5c is a representation of the phase profile of the output of an

electrically controllable de-speckling modulator exhibiting cross talk; 30

特開2003-279889

63

modulator sites for an electrically controllable de-speckling modulator with both Fig. 5d is a chart of the relative phase delay between adjacent lateral and time varying phase perturbations;

controllable de-speckling modulators that can be used in the laser projection Figs. 6a and 6b are perspective views of alternate electrically display of the present invention;

'n

Figs. 7a and 7b illustrate the effect of a modulator of the present invention in terms of an unaffected wavefront and an distorted wavefront respectively, in the case of incident collimated light,

Figs. 7c and 7d illustrate the effect of a modulator of the present invention in terms of an unaffected wavefront and an aborted wavefront respectively, in the case of incident convergent light, 2

Fig. 8 is a cross-sectional view of an alternative embodiment of the laser display system according to the present invention, incorporating multiple

delays on the order of the coherence length; 2

according to the present invention using a liquid crystal display light yalve; and Fig. 9 is a cross-sectional view of the laser display system

Fig. 10 is a cross-sectional view of an alternative embodiment of the laser display system according to the present invention using a micromirror-

array light valve.

ឧ

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

pulsed fashion. The laser 110 can be, for example, a solid state laser, a fiber laser, present invention, is shown in perspective view in Fig. 1, and includes a laser 110 Nd: YVO1, or Yb: YAO) that emits infrared pulses of light and includes nonlinear optics (typically optical parametric oscillators (OPOs)) that convert the infrared Laser display system 100 according to one embodiment of the that emits a laser beam 115 of a desired wavelength in either a continuous or a gas laser, or a semiconductor laser. Laser 110 is preferably a diode-laserpumped solid state laser including a laser crystal (e.g. Nd:YAG, Nd:YLF,

z

Mode-locked RGB lasers suitable for laser 110 are manufactured by Lumera pulses of light from the laser crystal into red, green, and blue pulses of light. 8

(38)

将關2003-279889

developed by Q-Peak. For simplicity, the laser display system 100 is depicted for Laser GmbH and JenOptik. Another suitable laser is the Q-switched RGB laser beams, which have moderate laser line widths (<1.5 nm), small source lagrange one wavelength only. These lasers generally produce high quality single mode Laser display system 100 is shown in cross-sectional view in Fig. 2a, to clarify some aspects of the design not readily shown in the perspective view of Pig. 1. values (<0.5 μm), and moderately long coherence lengths C_L (0.1-10.0 mm).

beam-shaping optics 170. The beam expansion optics 120 can be, for example, an collinated beam 145 with the necessary diameter to nominally fill the aperture of expander could be used. The afocal pair beam expansion optics 120 comprises a diverging lens 125 and a collimating lens 140. The diverging lens 125 can be a Beam expansion optics 120 expand the laser beam to produce a Alternately, for example, a three element zooming Galilean or Keplerian beam afocal pair of leases, as is well-known to one skilled in the art of optics. 2

single lens or a compound lens such as a microscope objective, and transforms the an electrically controllable de-specking modulator 160, and then is further aftered collinated beam 145. This collimated beam 145 interacts with diffuser 150 and light beam 115 into a diverging beam 130. The collimating lens 140 can be a single or a compound leus, and transforms the diverging beam 130 into a by beam shaping optics 170. 2 ន

As the laser display system of Figs. 1 and 2a uses a linear spatial constructed anamorphically, and generally use an appropriate arrangement of direction, the beam expansion optics 120 and beam shaping optics 170 are light modulator 200, which is long in the x direction, and narrow in the y-

incident light. For example, the illuminating light beam may have a uniform light cylindrical leases. In particular, it is typically desirable to flood illuminate linear profile extending 25-75 mm in the array (x) direction), whereas, the narrow cross array direction light only illuminates a 20-100 µm width, typically with either a spatial light modulator 200 with a long narrow line of uniform telecentrically ន

system of Fig. 1, the cross array optics, which condense or focus the beam of light uniform or Gaussian beam profile. In the simplified case of the laser display ಜ

•

onto linear spatial light modulator 200 are shown for simplicity as a single lens, cross array condenser 195. Thus, in the case of the Fig. 1 system, for a laser projection display using a linear spatial light modulator 200, the beam expansion optics 120 work in optics 180 are also anamorphic (cylindrical cross-sections), with optical power in the direction of the linear light valve (x-direction). In this case the beam-shaping the array direction only, and are thus anamorphic, providing beam expansion in condenser 195). Beam shaping optics 180 includes a fly's eye integrator 175. the x -direction, and flat surfaces in the y-direction (except for cross array

identical. The first and second lenslet arrays 1781 and 1781 include a plurality of The fly's eye integrator 175 provides efficient, uniform illumination over the area of a linear spatial light modulator 200. The fly's eye integrator 175 includes a lenslets with cylindrical surfaces, arrayed in a one-dimensional pattern. The first lenslet array 178a and a second lenslet array 178b, which are typically 2

approximately the focal length of the lenslets on the first lenslet array 178a, such that each lenslet in the first lenslet array 178a focuses light into the corresponding lenslet in the second lenslet array 178b. Other designs are possible in which the first and second lenslet arrays 178a and 178b are different, but are matched to second lenslet array 178b is separated from the first lenslet array 178a by provide the desired illumination. ~ 8

Alternately, the first and second lensiet arrays 178a and 178b can accomplished without the use of the second lenslet array 178b, especially if a be integrated in a single block of glass or plastic. Also, the invention can be

small diffusion angle is used.

the lensters of first lenstet array 178a in overlapping fashion to provide an area of provides telecentric illumination of the linear spatial light modulator 200 in order The beam-shaping optics 180 also includes a condenser lens 185 enslet array 178b, works in combination with the condenser lens 185, to image uniform illumination at the linear spatial light modulator 200. Field lens 190 and a field lens 190 located behind the fly's eye integrator 175. The second ង

to desensitize the system to defocus errors and to minimize the total numerical

윉

帝国2003-279889

8

梅国2003-279889

=

the lenslet focal length multiplied by the magnification of the illumination image. aperture of the illumination. Field lens 190 nominally has a focal length equal to likewise be generally equal to the focal length of the condenser lens 185 in order The spacing between the field lens 190 and the condenser lens 185 should

designed with relative case. While individual lenslets may be as small as 100 µm mm wide. The range of available lenslet sizes does depend on the manufacturing in width, or as large as ~8 mm in width, the individual lensiets are typically 1-5 to make the illumination telecentric. The focal lengths of the lenslet arrays and condenser lens 185 are typically chosen to provide sufficient working distance near the linear spatial light modulator 200 that the opto-mechanics can be 9

The linear spatial light modulator 200 generates a single line 220 of

the image at any moment in time. A scanner such as a galvanometer mirror 210, a spinning polygen, or a rotating prism sweeps the image lines across the screen to form a two-dimensional area image 225 on the screen 215. In the case of the laser display system 100 depicted in Figs. 1 and 2a, the system is configured as a postmm long, and the desired image size on screen 215 is 30 ft. wide, then projection objective scanner, with projection lens 205 located prior to galvanometer mirror 210. As an example, if linear spatial light modulator 200 has an active area 40 2

lens 205 would operate with a magnification of ~230x.

2

light modulator 200. As simplistically depicted in Figs. 1 and 2a, this device is a modulating the light in same way. This device, for example, could be an electro-A variety of different technologies can be used for linear spatial transmissive modulator, which encodes the image data in the light beam by

incident light on a per pixel basis. In that case, a polarization beam splitting prism (not shown) would be located somewhere between linear spatial light modulator optic modulator array made from PLZT which rotates the polarization of the 100 and galvanometer mirrar 210, so as to separate the modulated and unmodulated portions of the light beam. Alternately, the linear spatial light ង

modulator 200 could be a transmissive acousto-optical array device, much like the device in discussed in US Patent 5,309,178, issued May 3, 1994 to Gross which 8

modulator arrays can also be used, such as grating light valve (GLV) described in imparts a phase profile to the incident beam on a per pixel basis. In that case, a Schlieren type optical system can be constructed by placing a spatial filter (not shown) at Fourier plane internal to projection lens 205. Reflective grating

- device as described in US Patent 6,307,663, issued Octuber 23, 2001 to Kowarz, US Patent 5,311,360, issued May 10, 1994 to Bloom et al.; a conformal grating or an electro-optic grating as described in US 6,084,626, issued July 4, 2000 to Ramanujan et al. In these cases, the laser projection display 100 must also be modified to deflect the light beam down onto the modulator and return the
- reflected beam into the system (such modifications are not shown in Figs. 1 & 2a but are within the ordinary skill in the art of optical systems design). 2
- shaping optics 180, to modify the trightness or etendue of the laser light to match the imaging requirements of the projection system. In the case of the laser display A diffuser 150, is disposed between the laser 110 and the beam
 - diffuses light along the length of the light valve array (x direction in the figure), dimensional diffuser 150 produces just enough diffusion in order to efficiently system 100 of Figs. 1 and 2a, which has a linear spatial light modulator 200, diffuser 150 nominally is also one-dimensional. That is, diffuser 150 only while leaving the beam nominally unaltered in the y-direction. The one-2
- Exemplary one dimensional diffusers include diffractive line generators, available from MEMS Optical, and elliptical holographic diffusers, available from Physical illuminate the light valve and not enough to introduce flare light at the image. Optics Corp. ន
- optical system of the laser projection display 100 in order to reduce the source brightness (increasing lagrange). The diffuser angle 69 and the location of the In particular, diffuser 150 is employed within the illumination diffuser 150 and the half-angle of the light scattered by the diffuser 150. The dominated by the product of the illumination beam profile half-width on the diffuser 150 are selected accordingly. The lagrange of the system will be ង
 - which in turn depends on the resolution of the linear spatial light modulator 200 desired system lagrange may be inferred from the specified image resolution, ಜ

(32)

序開2003-279889

<u>.</u>

typical lamp based projector, the system lagrange will be determined by the need number will depend on the imaging criteria specified to determine the quality of to maximize system light efficiency. As a result, the projection lens for the laser display may have an f-number in the U7 to U15 range instead of the H3 required md the imaging properties of the projection lens 205. By comparison, in the by the prior art lamp based systems. The actual design target for the lens f-

light modulator 200 and an f/10 projection lens 205, will specify a target lagrange As an example, the combination of a 40 mm long linear spatial

the lens (for example, a Rayleigh or Sparrow imaging criteria could be applied).

- this example, the lagrange of the laser light will be reduced from $\sim 0.3~\mu m$ to ~ 1.0 diffuser 150 can have a half angle $\theta_D = 5.0^\circ$ and be placed within the illumination system such that it is illuminated by a collimated beam with 22-mm diameter. In mm, and a specular \$10 beam could be provided to spatial light modulator 200, of the projection system of ~1.0 mm in the X-direction. In this example, the 2
- structure. Thus, through the selection of the appropriate diffuser 150, the lagrange of the optical system, thereby boosting system light efficiency and simplifying the or brightness of the effective lasor light source can be defined to match the needs assuming the intervening optical system has the proper magnification and lens optical design, as compared to a traditional lamp based system. 15
- some extent, the laser light will remain sufficiently coherent to impart speckle into This comes about by overlapping many contributions from the diffuser 150 on the While diffuser 150 does reduce the coherence of the laser light to random variation in light intensity. Bowever, the fly's eye integrator 175, which primarily provides uniform illumination to the linear spatial light modulator 200, also amplifies the effect of the diffuser 150 on de-speckling and artifact removal. the outgoing beam. Unless this speckle is further reduced, it will be present at inear spatial light modulator 200 and therefore in the image on the screen 215. Although the resulting speckle within the illuminating light at the linear spatial both the linear spatial light modulator 200 and the screen 215 as an undesired ន ង
 - light modulator 200 and screen 215 is significantly reduced in size and magnitude compared to a similar system without the fly's eye integrator 175, this remaining 30

images displayed by the system. It should be noted that there need not be a one to one correspondence between the pixels of the spatial light modulator in the optical other undesired artifacts may be introduced by such periodic phase structures. For speckle modulator 160) to alter the phase profile shown in Fig. 5a across an extent would be a geometry that provides a periodic or quasi-periodic profile as shown in adjacent regions along the x-direction see different phase profiles. Also effective, projection display that employs a combination of internal means to de-speckle the of the light beam such that it more closely resembles the profile shown in Fig. 5b. that reason, the preferred mode of operation according to the present invention is modulator sites. While periodic or quasi-periodic phase profiles reduce speckle, one creating a phase profile as seen in Fig. 5b. In a preferred embodiment of the changes to the incident light, thereby helping to reduce speckle visibility in the Fig. 5b shows a more random phase profile in which at any given instant in time extends across a group of pixels, and which can exhibit speckle is shown in Fig. modulator sites that receive control signals to provide localized random phase A primary purpose of the present invention is to provide a laser output of a pixilated optical system. Speckle in such a system can be reduced another either spatially or temporally. A locally uniform phase profile, which modulator 160. In fact the optical system need not be pixilated at all, and for example could use an analog medium such as film for the image modulation.. Sa. The present invention uses means (including electrically controllable dewhen adjacent pixels or groups of pixels are not perfectly in phase with one system and the modulator sites of the electrically controllable de-speckling present invention, the laser projection display 100 includes an electrically controllable electro-optic de-speckling modulator 160, having a scries of Fig. 5c, which can for example originate with crosstalk between adjacent 22 2 2 8

特限2003-279889

3

optical system. By independently electrically addressing the modulator sites, each the laser display 100 of the present invention provides enough variation of phase The electrically controllable de-speckling modulator 160 used in speckle image when the modulator is used in conjunction with an appropriate within the light beam that the viewer or viewing system receives a reduced

- propagation in the light. This variation to the phase profile significantly reduces phase delays in the light beam with respect to the neighboring sites. A different site in the electrically controllable do-speckling modulator 160 can introduce voltage or voltage duration is applied to each site (or group of sites), thus producing a phase delay corresponding to as much as several waves of
- provides a perturbed phase from and varying it in time, both spatial and temporal the appearance of speckle. By picking a voltage distribution that spatially phase variation is introduced into the light beam. 2
- included in the optical system of the laser projection display in such a mamer that its' controllable spatially varying random phase profiles translate into a reduction speckle through a reduction of coherence, or a randomization of phase in a light beam spatially and/or temporally. The inclusion of the electrically controllable of speckle. The electrically controllable de-speckling modulator 160 reduces The electrically controllable de-speckling modulator 160 is 2
- de-speckling modulator 160 in the optical system serves to effectively scramble the phase profile of a light beam by varying the refractive index profile in the medium through which light travels. ន

Referring to Fig. 3, there is shown a first example of an electrically

- Individual modulator aites. Commonly-assigned co-pending USSN 09/924,619, controllable de-speckling modulator 160 of a type that could be used in the lascr addressable modulator sites that produce controlled time or phase delays with projection display of the present invention. The electrically controllable derespect to adjacent pixels in accordance with signals, or data provided to speckling modulator 160 is a patterned device including a collection of ង
 - filed August 8, 2001, by Ramanujan et al, describes the design and operation of de-speckling modulators in greater detail than provided here. 8

읈

The electrically controllable de-speckling modulator 160 comprises beam of light 320 encounters a time or phase delay in relation to the electric field applied between top electrode 385 and bottom electrode 400. Beam of light 320 a bulk electro-optic substrate 370 with a series of individual modulator sites 350, 355, 360, etc. Bach modulator site 350 has a delay region 380 through which a enters bulk electro-optic substrate 370 through an input facet 340, after which it traverses the modulator, and exits through output facet 345.

but it should be understood the geometry is applicable to a variety of materials and Illumination wavelengths. If a different material is employed, care must be taken must be oriented in a manner such that the applied electric field interacts with the Lithium niobate, lithium tantalate and PLZT. For the sake of simplicity, further modulator will center around the use of lithium tantalate illuminated at 633 nm, modulator site due to the larger electro-optic coefficient. However, the crystal to ensure the correct axes are employed. For example, use of PLZT in such a The choices of electro optic materials from which to build the device design can produce orders of magnitude greater phase delay along a electrically controllable de-speckling modulator are numerous and include discussion of the parameters for the electrically controllable de-speckling optical field through the appropriate axes of the crystal.

2

2

propagation direction will be referred to as the c-axis so that there is no confusion between the crystal axis and the propagation axis. (Note: Figs. 3, 4, and 6 use the purposes of the electrically controllable de-specking modulator discussions, light standard coordinate system for electro-optic crystals, whereas Figs. 1, 2, 8, 9, and field is applied along the z-direction. For best results, the light traveling through shown as y-cut, meaning that light propagates along the y-direction and electric axis.) Other cuts and geometries of the crystal maybe employed, but in this first In the case of lithium tantalate, the geometry represented here is the modulator is polarized along the x-direction (transverse direction). For the 10 use a typical optical coordinate system, with light propagation along the zexample, y-cut is optimal. ន 53 ဗ္က

99

特開2003-279889

speckling modulator 160 with a beam of light 320 propagating along the y-axis of perturbs phase fronts, it should be recognized that input light to the modulator can speckling modulator 160 may operate on several wavelengths and angular extents come from a variety of sources simultaneously. The electrically controllable demodulator to be antireflection coated. Purthennore, since the device effectively Fig. 4 shows a cross section of the electrically controllable dethe modulator. It may be advantageous for the input and output facets of the simultaneously. s

direction of Pig. 3 propagates along the crystal between top and bottom electrodes A single modulator site can be defined as the region between top 385 and 400. Light passing through that region acquires a phase change $\Delta \varphi$ and bottom electrodes 385 and 400. A ray of light, as defined along the xdefined as follows: 2

 $\Delta \phi = (x/\lambda) n^3 t_{33} 1 V/d$

mm, thickness of 500 µm, and illumination wavelength in the red spectrum, phase between 0V and 160V. Understandably, all the input parameters can be altered to delays of as much as several wavelengths can be generated for operating voltages have been represented by distance or number of waves. It is equivalent to discuss voltage V, length of propagation I, distance between electrodes d, wavelength of As is seen in Eq. 1, the phase change Δφ is a function of applied Given reasonable fabrication parameters such as propagation lengths from 5-50 delay as a time delay given by the distance of delay divided by the propagation light 3, refractive index n, and the 133 coefficient for y -cut Lithium tantalate. render more or less delay along a given channel or modulator site. All delays velocity of the light in the medium. 2 2 ฆ

A top electrode 385 and bottom electrode 400 defines each modulator sits. It may 360 is defined by several regions such as the one shown in cross section in Fig. 4. be useful on fabrication to have a common unpatterned electrode on one side of the device as opposed to patterning both the top and bottom of the device. This Referring back to Fig. 3, a plurality of modulator sites 350, 355,

allows modulation through differential voltage applied to the electrodes on one

30

side of the device. The de-speckling modulator is electrically controllable in the sense that the device consists of a series of modulator sites which are addressed by a patterned electrode structure, and which can respond individually or in groups, to pre-determined applied control signals. Bach modulator site can be operated independently through means of different applied voltages, different address times, or combinations of both. The electrically controllable de-speckling modulator 160 can be used as either an analog voltage driven modulator, a pulse width modulated device, or a combination of both. The control signals applied to

the de-speckling modulator could also be derived from a feedback loop, which

monitored the reduction of speckle visibility or contrast, and then adjusted to drive
signals to maintain or further reduce speckle magnitude. The width of any given
electrode along the x-direction can be anywhere from sub-wavelength in width to
literally millimeters in width.

It may be of use to periodically switch the polarities of the top and bottom electrodes, or to introduce a blanking pulse. Such bi-polar operation allows dissipation of space charge in the bulk electro-optic substrate 370.

Furthermore, because the operational voltages can be quite high and because the optical field may not be well contained, the electrodes may be patterned with material such as SiO2 under the electrode to act as a buffer layer 405 (see Fig. 4).

20 Also, an overcoat 410 of acrylic or other insulating material may be applied to

The device structure provided for the electrically controllable electro-optic de-speckling modulator 160 of Figs. 3 and 4 is only one example of this type of de-speckling modulator that could be used in a laser projection

prevent arcing in air.

display. A second such example is shown in cross section in Fig. 6s, where each mochalistor site consists of a series of electrodes 420-435 spaced along the y-caris of the crystal. A modulator site can be activated using all or a subset of the electrodes, for instance electrodes 410, 425, and 430, thus providing variable delay even with a single drive voltage. Each electrode (which have distinct

30 lengths) can be driven such that the applied voltage in conjunction with the electrode length can give different known fractions of wavelength delay. For

(38)

梅田2003-279889

. 61

instance, the first electrode may produce a U8 wavelength delay, the second U16, the third U32, and so forth. The applied voltage can be adjusted such that the same length of electrode renders the same number of wavelengths delay for different wavelengths of light. Additionally the electrodes can be modulated in time individually within each modulator site thus further randomizing the phase.

Another example of an electrically controllable de-speckling modulator useful in a laser projection display, is shown in Fig. 6b. The modulator has added complexity, but greater control as compared to that shown in Fig. 6a. Fig. 6b has different local electrode geometries between adjacent modulator sites.

10 By spacing electrodes 390, 392, 395 within a modulator site (350 for example) and staggering electrodes 390, 397, 399 between adjacent/acardy modulator sites, the modulator is less prone to electrical cross talk effects shown in Fig. 5c. Similar results can be achieved by allowing space between electrodes both between edjacent modulator sites 350, 335, 360 as well as within a single site 350.

15 On the other hand, as the electrically controllable de-speckling modulator is fundamentally a phase strambler, intended to randomly alter the phase fronts of the incident light in localized areas, the introduction of cross talk between modulator sites can help the intended result by introducing further phase variations. In the event that the designer wishes to contain cross talk effects, the electrodes will need sufficient gaps between them to prevent cross talk. It should

electrodes will need sufficient gaps between them to prevent cross talk. It should be understood that there are other exemplary structures for the electrically controllable de-speckling spatial light modulator, beyond those depicted in Figs. 3, 6a and 6b, which could be conceived of, and which could be used within a laser projection display 100 according to the present invention.

Because the appearance of speckle can be reduced both by spatial variations to the lateral phase profile or by time variations between adjacent regions, the operation of the electrically controllable de-speckling modulator can be modified to accommodate both. In the first case, a lateral electric field distribution is established as a function of address to the electrodes. This

30 distribution, in turn, defines a lateral phase perturbation. In the case of temporal variation, the same field profile may be employed at different sites. However, in

time, the relative fields are varied such that adjacent regions are out of phase with each other. Ideally, a combination of both methods of operation, as shown in Fig. 5d, provides the best result.

An electrically controllable de-specking modulator 160 can

- 5 function to distort or scramble the phase fronts of the incident light.

 Conceptually, this effect is illustrated in Figs. 7a and 7b for the case of collimated light, with planer parallel wave fronts 335 directed at normal incidence onto the modulator 160. As illustrated in Fig. 7a, zero drive voltage is applied to the modulator 160, and the wave fronts 325 emerge unaltered. As illustrated in Fig.
- 10 7b, voltages are applied to the modulator sites 350, and distorted wave fronts 330 emerge from the device. Figs. 7c and 7d illustrate the equivalent cases, where an electrically controllable de-speckling modulator 160 is located in convergent space within an optical system. It should be understood that these wave front distortions are exaggranted in extent and only representative of the general
 - 15 concepts. They are not necessarily depictions of wave fronts located 1A apart. While an electrically controllable de-specking modulator 160 can

distort wavefronts by providing spatial and temporal phase perturbations, the ability of the modulator to affect the appearance of speckle also depends on the design of the system in which it is used. The present invention predominately considers the case where the electrically controllable de-speckling modulator provides a small delay along a modulator site compared to the coherence length (\$\delta \leq \leq \leq \text{L}\$) of the light source. Indeed, lasers can have coherence lengths ranging from fractions of a mm to several meters in extent (0.1-5.0 mm for

- Red/Greav/Blue optical parametric oscillator type lasers), whereas, the lithium tantalate based de-speckle modulator will only provide a few waves of delay.

 Thus, as previously stated, this device can be used to cause time variant wave front distortions or aberrations, but not to directly alter the spatial or temporal coherence in an appreciable way. Fortunately, the time and space variable phase can be used to vary or average the speckle within the projected image, thereby
- reducing the perceptibility of the speckle if the variations are more rapid than the response time of the human eye.

(40)

特開2003-279889

- 21 -

On the other hand, an electrically controllable de-speckling modulator could be used in a system where the provided phase delay is on the same order as the coherence length of the light source $(\Delta \phi \sim C_1)$. For example, the typical white light source, such as an arc lamp, emits light with a coherence length C_1 and width only several wavelengths in extent, which is comparable to the phase delay from the lithium tantalate based device. Alternately, an electrically controllable de-speckling modulator with about 1.0 mm of delay, could be paired with a small coherence length [aaer (such as an OPO type laser), to again busically match delay and coherence length $(\Delta \phi \sim C_1)$. In such cases, the

- 10 electrically controllable de-speakling modulator can be used in various ways within the optical system to alter both the spatial and temporal coherence directly. If the controllable phase delay significantly exceeds the coherence length of the light from the light source (Δφ >> C_L), even more dramatic effects can be realized with an electrically controllable de-speckling modulator 160.
- The effectiveness of the electrically controllable de-speeding modulator 160 in reducing speckle visibility depends both on the structure and performance of the specific device (Figs. 3, 6a and 6b abow such exemplary devices) and the manner in which it is used within laser projection display 100. In particular, an electrically controllable de-speckling modulator 160 may be located prior to the first lenslet array 178a of fly's eye integrator 175 as depicted in Figs. 1 and 2a, or within fly's eye integrator 175 as depicted in Fig. 2b, or similarly after the second lenslet array 178b of fly's eye integrator 175. In the typical fly's eye integrator based optical system used to illuminate a one dimensional device (spatial light modulator 200), the number (N) of lenslets in each lenslet array
- 25 (178a and 178b) is relatively small, with ~ 6-20 leaster providing adequate light uniformity. By comparison, the typical spatial light modulator 200, will be an array comparising a relatively high number (M) of tightly packed pixels, with between 256 to 4096 pixels serving most applications. The number (P) of modulator sites in the electrically controllable de-speckling modulator 160 of
- 30 Figs. 1 and 2 is determined by their effectiveness in reducing speckle visibility,

€

160 can be used to locally alter the wavefronts of the light beams, as in Figs. 7a-d. Assuming that electrically controllable de-speckling modulator 160 wavelengths vs. a few mm), then electrically controllable de-speckling modulator small relative to the coherence length ($\Delta \varphi << C_L$) of the laser light beam (a few is operating under the condition that the phase change or delay it introduces is

modify (distort) the wavefronts of imaging beams of lights within the illumination

In this case, there will be many modulator sites per lenslet (P>>N). In order to

prior to the first lenslet array 178a, and where this lenslet array is image conjugate to the spatial light modulator 200, electrically controllable de-speckling modulator field of the imaged plane (or in one of its conjugate planes). Thus, in the Fig. 1 system, where electrically controllable de-speckling modulator 160 is located system, electrically controllable de-speckling modulator 160 is used in the far 160 is minimally offset from the lenslet array by more than the depth of focus (DOF), and is optimally in the far field of this conjugate plane (approximately 2 5

speckling modulator 160 is located between first lenslet array 178a and second Similarly, as shown in Fig. 2b, if electrically controllable de-

the first lensiet array, and can therefore phase alter the wavefront structure. As the controllable de-speckling modulator 160 is by definition located in the far field of lenslet array 178b, and in proximity to second lenslet array 178b, then electrically optical system can deliberately be designed to have the light underfill the lenslets of the second lenslet array 178b, the required fill factor for the electrically 2

sites. Similarly, electrically controllable de-speckling modulator 160 could be located after second lenslet array 178b, and most likely between second lenslet alternative and less demanding electrode addressing schemes to the modulator controllable de-speckling modulator 160 can be reduced, which may permit array 178b and condenser lens 185. For these various cases, the wavefront 53

mostly effect the localized interference of wavefronts which contributes to the aberrations induced by electrically controllable de-specking modulator 160 2

42

特国2003-279889

R

creation of speckle. This configuration may also effect the quality of the imaging provided by the beam shaping optics, thereby causing some softness at the edges of the illuminated area

controllable de-speckling modulator can be positioned within the optical system to inaging wavefronts within the illumination system. In this case, the number of Alternately, for this same case where the electrically controllable act more like a diffuser which scatters or diffracts light, rather than altering the de-speckling modulator 160 provides phase changes or delays which are small relative to the coherence length ($\Delta \varphi << C_L$) of the laser light, the electrically

the imaging plane within the illumination system. That is, electrically controllable electrically controllable de-speckling modulator 160 is located in the near field of the conjugate image plane (conjugate to the image plane at spatial light modulator lensict array 178a, and should be nominally within the near field (<10*DOF) of de-speckling modulator 160 is nominally located just before or just after first modulator sites is large compared to the number of lenslets (P>>N), and the 2

2

speckling modulator 160 is operating under the condition that the phase change or If, on the other hand, it is assumed that electrically controllable dedelay it introduces is on the same order as the coherence length $(\Delta \varphi \sim C_L)$ of the

case, if the number of modulator sites is identical to the number of lenslets (P=N), and the modulator sites are aligned to correspond to a given lenslet of lenslet array light from the laser source 110, then the device can directly effect the relative temporal coherence of the light for one light beam relative to another. In this 178a, the temporal coherence is altered for the light beam transiting a given 8

this case, electrically controllable despecking modulant 160 can be located prior ensemble speckle will vary in time as the modulator sites are randomly driven. In restriction. Likewise, electrically controllable de-speckling modulator 160 can be speckle pattern within the illuminated area at spatial light modulator 200, but the to first leastet array 178s, but without any strict far field or near field positional lenslet and modulator site, relative to the others. Each beam will create its own 23 읎

located between the first lenslet array 178a and second lenslet array 178b, or just

€ € after second lenslet array 178b. This configuration would work even better if the phase delay is significantly (2x-3x or more) larger than the coherence length $(4\phi > C_L)$.

Alternately, an electrically controllable de-speckling modulator 160, operating under the condition that the phase change or delay it introduces is on the same order as the coherence length ($\Delta \phi \sim C_L$) of the light from the laser source 110, such that the electrically controllable de-speckling modulator can directly effect the relative temporal coherence of the transiting light, can be provided within laser display 100 with a number (P) of modulator sites greater

than the number (N) of lenslets (P>N). In this case, the electrically controllable de-speckling modulator can be used to randomize the coherence spatially across each lenslet array, and thus across the spatial light modulator 200 and screen 215. In this example, electrically controllable de-speckling modulator 160 is not used to alter the wavefronts with small phase aberrations, but to alter the coherence of one spatial area relative to another, and effectively synthesize a nearly incoherent source. If the number of modulator sites is modestly greater than the number of translator to enother the abertacial conventible descentions.

one spatial area relative to another, and effectively synthesize a nearly inconcrent source. If the number of modulator sites is modestly greater than the number of lenslets (P=8*N for example), the electrically controllable de-speckling modulator 160 can be located prior to first lenslet array 178a, but without any strict far field or near field positional restriction (as long as the modulator sites are not small enough to diffract, scatter, or diffuse appreciable light). In this case, the beam of light passing through each lenslet is split into relatively large suljacent regions, with the termporal coherence varying unmagst the regions. However, if there are many modulator sites relative to the number of lenslets (P>>N), such that the

diffuser, then de-speckling modulator 160 should be located in the near field of first lenslet array 178a. In that case, electrically controllable de-speckling modulator 160 may be located just before or just after lenslet array 178a, and should be nominally within the near field (<10*DOP) of the conjugate image plane (conjugate image plane (conjugate to the image plane at spatial light modulator 200). These configurations would work even better if the phase delays provided by de-speckle

electrically controllable de-speckling modulator 160 functions more like a

(44)

特別2003-279889

- 25-

modulator 160 are significantly (2x-3x or more) larger than the coherence length (AA>C).

In summany, laser display system 100 is designed to provide a projected image on a distant screen 215 that is free from perceptible speckle, by 5 using a combination of speckle reduction/de-correlation techniques. The use of diffuser 150 not only re-defines the effective lagrange or dendue of the light, but also breaks the coherent incident beam into a multitude of smaller, less spatially coherent wavefronts. Thus use of a light integrating system, such as fly's eye integrator 175, which divides the light into beamlets which are reimaged to create

10 a uniform area of illumination, also provides further speckle reduction by overlapping the many local contributions from the diffuser across the sercen. Finally, the use of electrically controllable de-speckling mochilator 160 provides means to disrupt the local phase of portions of the illuminating light, relative to other portions of the illuminating light, thereby altering the local spatial and/or temporal coherence relationships. This allows either the local wavefront phase

temporal coherence relationships. This allows either the local wavefront phase structures, the temporal coherence relationships between wavefronts, or the temporal coherence across spatial areas to be altered. Furthermore, it should be noted that speckle reduction in laser display 100 could have diffuser 150 attached to a motion mechanism, which imparts a linear, rotary, or random motion to the

to a motival inclusions, which impairs a times, totaly, or random motion to the diffuser, such that the diffuser 150 moves by at least the characteristic feature size of the diffusing surface. The frequency of the motion must be faster than the flicker frequency (> 40 Hz). Speckle visibility is then further reduced by decorrelating the speckle pattern by time sveraging the position and magnitude of the speckle in local areas across the full spatial extent of the image.

Depending on its construction and operation, the electrically controllable de-speckling modulator 160 may impart sufficient phase perturbations, such as diffraction or scatter, to the light beam to actually cause the source lagrange or elendue to be measurably increased. In the case of projection systems designed with a linear spatial light modulator 200 requiring a relatively coherent illumination in the array direction, a small change in source lagrange provided by the electrically controllable de-speckling modulator 160 may be

٠, ٠

(

100. It should be understood that multiple cylindrical lens elements could be used and 2a show a simplified optical system with just one cylindrical lens, cross array elements within laser projection system 100 prior to linear spatial light modulator condenser 195. Cross array condenser 195 conditions the light beam in the cross It also should be understood that the cross array optics in Figs. 1 array direction, to optimize it for interaction with linear spatial light modulator for this beam conditioning. It should also be understood that some of the lens

shown) could be provided prior to electrically controllable de-speckling modulator 200 could be spherical, and shape both the array and cross array beams. Likewise, further control of either the array direction or cross array direction spot formation projection less 205 could also include cylindrical lenses (not shown), to provide at the screen 215. Similarly, it should be understood that cross array optics (not 2

array condenser 195 or equivalent would adapt the cross array light beam exiting 160 to pre-condition the light beam so as to optimize the interaction of the light through the electrically controllable de-speckling modulator. In that case, cross electrically controllable de-speckling modulator 160 to optimize it for input to linear spatial light modulator 200. It should also be understood that alternate ~ 8

coperation with diffuser 150 and electrically controllable de-speckling modulator used within an alternate design for the beam shaping optics 170, and provide both beam homogenizing optics to the fly's cye integrator could be used. In particular, an integrating barkaleidoscope, much as described in (Moulin patent), could be uniform illumination, as well as a contributory effect to speckle reduction in n

An alternate construction for laser projection display 100 is shown in Fig. 8, in which a beamsplitter array 240 is used to provide optical path delay Beamsplitter array 240 comprises an arrangement of (R) partially reflecting differences so as to reduce the coherence of the composite laser beam 250.

mirrors, which create a series of beamlers 245 with optical path length differences (Ad) between adjacent beamlets 245 that are on the order of the coherence length 39

9

条理2003-279889

7

of the laser or larger. Optimally the optical path differences (Ad) are on the same with the reflectivity increasing progressively from the first mirror (241a) to the beamsplitter array 240 would be partially transmitting, and partially reflecting, order of size as the coherence length C. of the laser 110. The mirrors of

- effectively works as a beam expander, using the R beamlets to create a composite mirrors, prism arrays and other structures could be used. Beamsplitter array 240 laser beam 250. However, as the R beamlets travel different optical path lengths last mirror (241e). Although beamsplitter array 240 is illustrated as an array of (Ad,, Ad,, Ads, etc...) which are comparable to the coherence length C., the
- coherence changes more slowly, such that groups of beamlets 245 are coherent to temporal coherence of the light will vary across the spatial extent of composite laser beam 250. Ideally, each of the R beamlets 245 are temporally incoherent relative to the others. However, the scheme is still useful even if the temporal each other, as these groupings will tend to change randomly in time, as the 2

non-uniform, and composite laser beam 250 will be non-uniform as well. As with profile (a Gaussian profile being common), each of the beamlets 245 will also be the Fig. 1 system, diffuser 150 is inserted to change the effective source lagrange As the typical laser beam 115 has a non-uniform light intensity

coherent emissive state of the laser 110 fluctuates in time.

2

- uniformity and reduce speckle visibility at spatial light modulator 200. However, composite laser beam 250 somewhat more uniform and less coherent. Again as or etendue to match the imaging requirements. Diffuser 150 also helps to make previously, a fly's eye integrator 175 is used to both improve the illumination in this case, first lensiet array 178a is designed to have each bearnlet 245 ឧ
- R laser beams will produce their own fine speckle pattern dictated by the diffuser, each lensiet array 178a and 178b. The effect at the screen 215 is that each of the illumination at the light valve. Thus there are a total of at least $M \times R$ lenslets in the M fly's eye lenslet pairs used by a given beam, and the screen. The M \boldsymbol{x} R illuminate M lenslets, so that each beamlet 245 is transformed into uniform 23
 - without the use of electrically controllable de-speckling modulator 160 or the speckle patterns will add incoherently to produce an overall averaging even . 8

speckling modulator 160. As the temporal coherence within composite laser beam motion of diffuser 150. Although in some less critical applications, this degree of speckle reduction may be sufficient, for critical applications, laser display system 100 of Fig. 8 is further improved with the addition of electrically controllable de-

- modulator 160 can be used to alter the phase wavefronts within the beamlets 245, of first lenslet array 178s, such that it is in the far field (well outside the depth of modulator 160 can be positioned (see Fig. 8) within laser display 100 in advance (∆\$ << Ct.). As with the prior discussion, electrically controllable de-speckling assuming the applied phase change is small relative to the coherence length 250 is already significantly variable, electrically controllable de-speckling 'n
 - Similarly, as previously, electrically controllable de-speckling modulator 160 can comparable to the coherence length ($\Delta \varphi \sim C_L$), the modulator can be used to very be located in the downstream far field of the conjugate image plane, in proximity to second lenslet array 178b, either before as in Fig. 2b, or after. Alternately, if where these regions are relatively large compared to the wavelength of light (to he temporal and spatial coherence across regions within each of the M lenslets, electrically controllable de-speckling modulator 160 provides phase changes focus (DOP)) of the conjugate image plane of beam shaping optics 170. neither scatter nor diffuse). 2 23
- dimensional light modulators. There are a wide variety of two dimensional (area) liquid crystal light valves s (LCDs) and micro-mechanical mirror arrays (including Thus far, this invention for a laser display system utilizing both an electrically controllable de-speckling modulator and a spatial light modulator for spatial light modulators which can be used in electronic projection systems, with prominent. Relative to the laser display system of Fig. 1, the primary impact of switching from a one dimensional spatial light modulator to a two dimensional type, is that both the illumination optics and the electrically controllable dethe digital mirror devices (DMDs) from Texas Instruments) being the most imparting image data, has been described with respect to the use of one ន z

speckling modulator 160 must be modified to work two dimensionally. In that

ಜ

case, the fly's eye integrator 175 typically use fly's eye lenslet arrays 178 (a,b)

8

将開2003-279889

diffusion, rather than the one-dimensional diffusion preferred in the Fig. 1 linear aid out in a two dimensional pattern, where the lenslets have spherical surfaces system. Such diffusers are available as holographic diffusers from Physical Likewise, diffuser 150 provides controlled two dimensional (or spherical)

The various examples of spatial light electrically controllable de-Photonics Corp.

Optics Corp. or a randomized microlens array from Corning - Rochester

should also be understond that other types of electrically controllable despectling conducive to use as a two dimensional structure, which could then be placed in a speckling modulator 160 detailed in Figs. 3, 4, 6a and 6b are one dimensional or placing a series of these devices in offset locations within the optical system. It controllable de-speckling modulator by stacking a series of these devices, or by modulators can be designed, which use other electro-optical materials more linear devices. It is possible to construct a two dimensional electrically 2

modulator array.

laser display system with a two dimensional image modulating spatial light

~

projection display 100 using an area type modulator array, such as an LCD. As before, laser 110 emits a laser beam 115 which is pre-conditioned by beam For example, Fig. 9 shows a cross sectional view of a laser

- 150, fly's eye integrator 175, and electrically controllable de-specking modulator 160 all contribute to reduce the presence of speckle across two dimensions at the expansion optics 120, diffuser 150, and beam shaping optics 170 to illuminate a spatial light modulator and at the screen 215. Unlike the system of Fig. 1, in the spatial light modulator (liquid crystal display 255). And as previously, diffuser ឧ
 - lisplay 255 modulates the illuminating light, rotating the polarization state of this through a pre-polarizer 260, and a polarization beam splitter 265. Liquid crystal system of Fig. 9, a two dimensional on screen image is not formed by scanning but by using projection lens 205 to directly image the spatial light modulator (liquid crystal display 255) to the screen 215. The illumination light passes ĸ
- Modulated image bearing light beam 275, which is directed to the screen 215 by light on a pixel by pixel basis, according to the applied command signals. 8

(49)

S

Similarly, Fig. 10 shows a cross-sectional view of a laser projection beamlets of light on a pixel-by-pixel basis. This system is substantially the same available from Texas Instruments. Unlike systems using a liquid-crystal spatial light modulator, which rely on controlled polarization effects to modulate the light, the micro-mechanical mirror array 280 utilizes angular control of the display using a micro-mechanical mirror array 280, such as the DLP chip 2

constructed either with a two dimensional spatial light modulator array, a $2D\,\mathrm{fl}y^3$ system, a 1D electrically controllable de-speckling modulator 160, and a scanner, eye system, and a 2D electrically controllable de-speckling modulator 160 as in projection lens 205, or toward a stop 285 (i.e. a Schlieren optical system). Pixel as the system shown in Fig. 1, except the illumination converges to an aperture 290 beyond the micro-mechanical mirror light array 280. Individual pixels are formed by microminrors that either direct light through the aperture 190 of the brightness is controlled by selecting the proportion of time within a frame that Fig. 10, or alternately with a 1D spatial light modulator array, a 1D fly's eye light is directed through the lens aperture 190. This type of system can be 2 2

leser beam and single spatial light modulator, although the broader discussion has For simplicity, the invention has been demonstrated with a single light beams which follow separate optical paths to illuminate the respective red, understood that a system can be constructed with separate red, green, and blue been directed towards a full color RGB projection display. It should be

such as the galvanometer used in Fig. 1.

ង

green, and blue spatial light modulators. The modulated light beams would be

요

9

特開2003-279889

-31-

color combined, typically by an x-prism located before the projection lens, and the lasers, from one OPO type laser package using a combination of non-linear optics image. The separate red, green, and blue beams can originate from three separate to output three beams, or from an OPO type laser package integrated to provide a resulting light beam would be imaged to the screen to provide a polychromatic single white light laser beam output, which is subsequently color split. -33-

(25)

時間2003-279889

(21)

-32-

modulated image bearing light beam micro-mechanical mirror array polarization beam splitter bulk material or substrate polarization analyzer distorted wave front bottom electrode modulator site modulator site modulator site delay region top electrode output facet wave front input facet buffer layer electrode electrode aperture electrode electrode electrode electrode electrode overcoat electrode 275 280 285 230 320 325 330 340 345 350 355 360 370 380 385 390 392 395 397 339 8 405 420 electrically controllable de-speckling modulator PARTS LIST linear spatial light modulator beam expansion optics cross array condenser composite laser beam laser display system beam shaping optics galvanometer mirror fly's cyc integrator second lenslet array first lenslet array collimated beam beamsplitter amay diverging beam collimating lens condenser lens diverging lens projection lens pre-polarizer laser beam line image field lens area mage diffuser beamlets screen mirrors 241(a-c) 178b 130 140 150 8 57.1 88 193 200 210 220 185 190 202

€

SSS

- 34 -

WHAT IS CLAIMED IS:

- 1. A display apparatus, comprising:
- a) a laser light source for emitting a light beam having a coherence

length;

- b) a beam expander for expanding the light beam;
 - c) a spatial light modulator;
- d) beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spatial light modulator, the beam shaping optics
- c) a diffuser located in the light beam between the laser light source including a fly's eye integrator having an array of lenslets;
- f) an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the and the beam shaping optics;
 - g) a projection lens for producing an image of the spatial light temporal and spatial phase of the light beam; and

modulator on a distant screen.

oji SŽI oži òοι

FIG. I

SOO

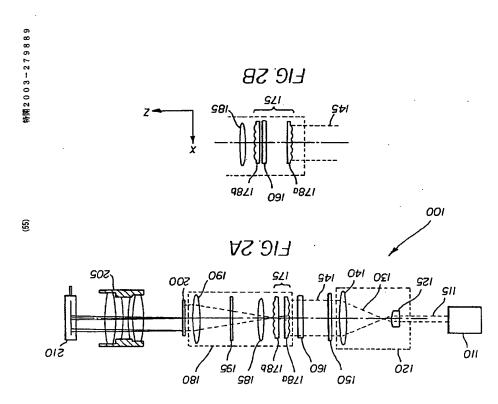
SIZ

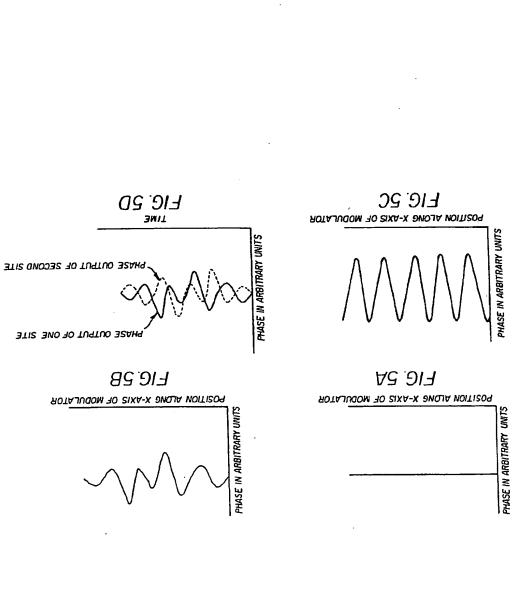
081

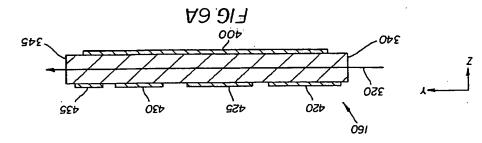
SÓS

012

SSO







EIC 68

26Σ 2 . 26Σ

06ξ

091

66€

340

特開2003-279889

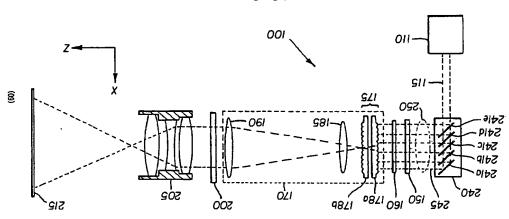
(28)

特開2003-279889

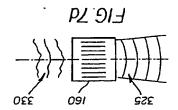
63

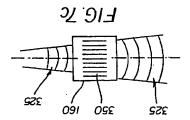
098

*9*6ε

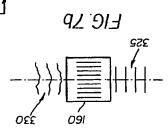




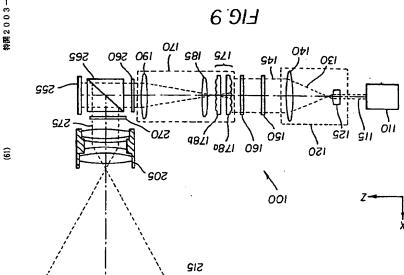








(62)



(63)

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A display apparatus includes a laser light source for emitting a light beam having a coherence length; a beam expander for expanding the light beam; a spatial light modulator, beam shaping optics for shaping the expanded laser beam to provide uniform illumination of the spatial light modulator, the beam shaping temporal and spatial phase of the light beam; and a projection lens for producing located in the light beam between the laser light source and the beam shaping optics; an electrically controllable de-speckling modulator for modifying the optics including a fly's eye integrator having an array of lenslets; a diffuser an image of the spatial light modulator on a distant screen. 5

2